

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E MATERIAIS - PPGE3M

TESE BILÍNGUE: PORTUGUÊS / INGLÊS
DUAL LANGUAGE THESIS: PORTUGUESE / ENGLISH

L&GBM - MODELO PARA UM NEGÓCIO ENXUTO E VERDE
L&GBM - LEAN & GREEN BUSINESS MODEL

Andrea Brasco Pampanelli

Tese para obtenção de Título de Doutor em Engenharia
Thesis to obtain Engineering Doctorate Title

Porto Alegre, Agosto, 2013
Porto Alegre, August, 2013

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E MATERIAIS - PPGE3M

L&GBM
MODELO PARA UM NEGÓCIO ENXUTO E VERDE

Andrea Brasco Pampanelli
Mestre em Engenharia

Este trabalho foi desenvolvido sob supervisão do Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – PPGE3M e da Escola de Administração da Universidade de Cardiff/Reino Unido e aplicado na GKN do Brasil e GKN Corporação como parte de requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Porto Alegre
2013

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E MATERIAIS - PPGE3M

L&GBM
LEAN & GREEN BUSINESS MODEL

Andrea Brasco Pampanelli
Master Degree in Engineering

This project was developed under supervision of PPGE3M Doctoral Programme from Engineering School Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) and co-supervision of Lean Enterprise Research Centre, Cardiff Business School, Cardiff University, UK and applied at GKN Driveline Brazil and GKN Corporation, attending all prerequisites for obtaining the title of Doctor (PhD) in Engineering.

Focus Area: Materials Science and Technology

Porto Alegre

2013

Esta Tese em questão foi considerada adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração Ciência e Engenharia dos Materiais, bem como aprovada em sua forma final, pelo Orientador, Co-orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientadora: Dr. Andréa Moura Bernardes – UFRGS/PPGE3M

Co-orientadora: Dr. Pauline Found – Cardiff University/ Business School

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Carlos Mierzwa

Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - Escola Politécnica

Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Luis Felipe Nascimento

PPGA - Escola de Administração

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Guilherme Tortorella

PPGEP - Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker

Coordenador PPGE3M

This thesis was considered adequate for obtaining the title of Doctor in Engineering, focus area Materials Science and Technology, as well as approved in its final format by supervisor, co-supervisor and examiners panel of Doctorate Programme.

Supervisor: Dr. Andréa Moura Bernardes – UFRGS/PPGE3M

Co-supervisor: Dr. Pauline Found – Cardiff University/ Business School

Examiners:

Prof. Dr. José Carlos Mierzwa
Engineering School
USP – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Luis Felipe Nascimento
PPGA – Business School
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Guilherme Tortorella
PPGEP – Engineering School
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
PPGE3M Coordinator

LISTA INTEGRADA DE CONTEÚDOS - INTEGRATED CONTENT LIST

VERSÃO EM PORTUGUÊS	21
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	22
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA:	26
1.2 DEFINIÇÃO DE ÂMBITO DE ESTUDO E LIMITAÇÕES	27
1.3 ESTRUTURA DA TESE	28
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA.....	30
2.1 GESTÕES DE OPERAÇÕES	34
2.2. PENSAMENTO LEAN	37
2.2.1 As quatro dimensões da empresa <i>lean</i>	38
2.2.2 Cinco princípios <i>lean</i> essenciais e sete desperdícios clássicos.....	41
2.3 SUSTENTABILIDADE E COMPRESSION	43
2.4 PENSAMENTO GREEN	51
2.5 REVISÃO DE LITERATURA DE BLOCOS DE CONSTRUÇÃO BÁSICOS	55
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DA LITERATURA	57
3.1 ANÁLISE LEAN & GREEN SOB UMA PERSPECTIVA DE OPERAÇÕES.....	59
3.2 ANÁLISE LEAN & GREEN SOB UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE.....	61
3.3 ANÁLISE GREEN SOB UMA PERSPECTIVA LEAN	64
3.4 ANÁLISE LEAN SOB UMA PERSPECTIVA GREEN	68
3.5 ANÁLISE DA LITERATURA DOS PRINCIPAIS FATORES	74
CAPÍTULO 4: MÉTODO DE PESQUISA	76
4.1 PROJETO DE PESQUISA E CRONOGRAMA	76
4.2 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO ONDE O L&GBM FOI TESTADO	83
4.3 DESCRIÇÃO DO SEMINÁRIO	86
4.4 OBSERVAÇÕES GERAIS DOS ACADÊMICOS PARA O L&GBM.....	87
CAPÍTULO 5: MODELO DE NEGÓCIO <i>LEAN & GREEN</i>.....	89
5.1 O OBJETIVO DO L&GBM	90

5.2 OS PRINCÍPIOS DO MODELO L&GBM	93
5.3 AS FORMAS DE TRABALHO DO L&GBM	96
5.4 POR QUE O L&GBM É DIFERENTE DO PENSAMENTO LEAN & GREEN PURO?	97
5.5 L&GBM PARA UMA CÉLULA	101
5.6 L&GBM PARA CÉLULAS IRMÃS	106
5.7 L&GBM PARA FLUXO DE VALOR.....	108
5.8 CONSOLIDAÇÃO DO L&GBM	117
CAPÍTULO 6: APLICAÇÃO E RESULTADOS DO L&GBM	118
6.1 TESTE-PILOTO DO MODELO L&GBM PARA UMA CÉLULA.....	118
6.2 CONTRIBUIÇÕES DOS ESPECIALISTAS MUNDIAIS SOBRE O L&GBM	124
6.3 IMPLANTAÇÃO DO MODELO L&GBM EM UMA CÉLULA.....	127
6.4 APLICAÇÃO DO MODELO L&GBM PARA CÉLULAS IRMÃS.....	134
6.5 APLICAÇÃO DO MODELO L&GBM PARA UM FLUXO DE VALOR.....	137
6.6 APLICAÇÃO DO L&GBM PARA UMA CÉLULA EM DIFERENTES AMBIENTES DE MANUFATURA....	152
CAPÍTULO 7: ANÁLISE DOS RESULTADOS DO L&GBM	156
7.1 ANÁLISE DAS CONCLUSÕES RELACIONADAS À APLICAÇÃO DO L&GBM.....	156
7.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS COMPARANDO O MODELO L&GBM COM A LITERATURA.....	163
7.3 RESPOSTA DO L&GBM PARA AS CONSIDERAÇÕES DOS ESPECIALISTAS.....	166
CAPÍTULO 8: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	173
8.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	180
ENGLISH VERSION.....	181
CHAPTER 1: INTRODUCTION	182
1.1 RESEARCH OBJECTIVES:.....	186
1.2 DEFINITION OF SCOPE OF STUDY AND LIMITATIONS	187
1.3 THESIS STRUCTURE.....	188
CHAPTER 2: LITERATURE REVIEW	190
2.1 OPERATIONS MANAGEMENT.....	193

2.2 LEAN THINKING	196
2.2.1 Four dimensions of a Lean Enterprise.....	197
2.2.2 Lean key five principles and seven classic wastes.....	200
2.3 SUSTAINABILITY AND COMPRESSION	202
2.4 GREEN THINKING.....	209
2.5 LITERATURE REVIEW FUNDAMENTAL BUILDING BLOCKS.....	213
CHAPTER 3: LITERATURE ANALYSIS	215
3.1 ANALYSIS OF LEAN AND A GREEN TAKING AN OPERATIONS PERSPECTIVE.....	217
3.2 ANALYSIS OF LEAN AND GREEN TAKING A SUSTAINABILITY PERSPECTIVE.....	219
3.3 ANALYSIS OF GREEN TAKING A LEAN PERSPECTIVE.....	222
3.4 ANALYSIS OF LEAN TAKING A GREEN PERSPECTIVE.....	226
3.5 LITERATURE ANALYSIS MAIN INPUTS.....	231
CHAPTER 4: RESEARCH METHOD	234
4.1 RESEARCH DESIGN AND TIMELINE	234
4.2 DESCRIPTION OF THE BUSINESS WHERE L&GBM WAS TESTED.....	241
4.3 SEMINAR DESCRIPTION	244
4.4 GENERAL INPUTS FROM THE ACADEMIA FOR THE L&GBM.....	245
CHAPTER 5: LEAN & GREEN BUSINESS MODEL	246
5.1 THE PURPOSE OF THE L&GBM	247
5.2 THE PRINCIPLES OF THE L&GBM	250
5.3 THE WAYS OF WORKING OF THE L&GBM	253
5.4 WHY THE L&GBM IS DIFFERENT FROM PURE LEAN AND GREEN THINKING?.....	254
5.5 L&GBM FOR A CELL	258
5.6 L&GBM FOR SISTERS' CELLS	262
5.7 L&GBM FOR A VALUE STREAM	265
5.8 CONSOLIDATING L&GBM	273
CHAPTER 6: L&GBM APPLICATION AND RESULTS.....	274
6.1 PILOT TESTING OF THE L&GBM FOR A CELL.....	274

6.2 GLOBAL SPECIALISTS INPUTS REGARDING L&GBM.....	280
6.3 ROLL OUT THE L&GBM FOR A CELL.....	283
6.4 APPLYING THE L&GBM TO SISTER CELLS.....	290
6.5 APPLYING THE L&GBM TO A VALUE STREAM	293
6.6 APPLYING THE L&GBM TO A CELL IN DIFFERENT MANUFACTURING ENVIRONMENTS	307
CHAPTER 7: L&GBM ANALYSIS OF RESULTS	311
7.1 ANALYSIS OF THE FINDINGS RELATED TO THE APPLICATION OF L&GBM.....	311
7.2 ANALYSIS OF FINDINGS COMPARING L&GBM WITH LITERATURE.....	318
7.3 L&GBM RESPONSE TO SPECIALIST’S INPUTS.....	321
CHAPTER 8: CLOSING REMARKS	329
8.1 SUGGESTIONS TO FUTURE RESEARCH	335
REFERENCIAS / REFERENCES	336
APENDICE 1 – ARTIGO “A LEAN & GREEN MODEL FOR A PRODUCTION CELL”	345
APPENDIX 1 – ARTICLE “A LEAN & GREEN MODEL FOR A PRODUCTION CELL”	345

LISTA INTEGRADA DE FIGURAS / INTEGRATED LIST OF FIGURES

Figura 1: O objetivo principal do estudo.....	25
Figura 2: Literatura básica – pilares principais para esta pesquisa.....	32
Figura 3: Corpos individuais de literatura que integram esta pesquisa.....	33
Figura 4: Objetivos do desempenho da gestão de operações - Visão de efeitos internos e externos.	36
Figura 5: Papel e contribuição da função de operações em cada etapa do processo estratégico da organização	37
Figura 6: “ <i>House of Lean</i> ”	39
Figura 7: Etapas da implementação <i>lean</i>	39
Figura 8: Vetores de desenvolvimento sustentável.....	44
Figura 9: O caso para <i>compression</i> , reproduzido aqui com a permissão de ©Robert Hall	50
Figura 10: Os três vetores apresentados pelo conceito de sustentabilidade com base no pensamento <i>compression</i>	51
Figura 11: Representação esquemática da análise da literatura.....	57
Figura 12: Ideias fundamentais identificadas ao longo da análise da literatura.....	75
Figura 13: Estrutura da pesquisa aplicada ao desenvolvimento do L&GBM	78
Figura 14: Desempenho ambiental da GKN Driveline do Brasil nos anos 2010, 2011 e 2012 e meta para 2013	85
Figura 15: As cinco dimensões do L&GBM.....	91
Figura 16: Posicionamento do L&GBM	92
Figura 17: Os três níveis de fluxo de manufatura baseado em organizações do pensamento <i>lean</i>	94
Figura 18: Exemplo da análise de fluxo de massa e energia aplicada pelo modelo <i>Lean & Green</i>	95
Figura 19: Os princípios do L&GBM	96
Figura 20: <i>House of lean</i> e L&GBM	100
Figura 21: Análise do fluxo de massa e energia usando o modelo <i>Lean & Green</i> no nível da célula e avaliados de acordo com operações.....	101
Figura 22: O Modelo de cinco etapas <i>Lean & Green</i> para melhorar o desempenho dos fluxos de apoio	102
Figura 23: Grupos de pessoas que estão envolvidos na iniciativa <i>kaizen</i> – Para uma célula	104

Figura 24: Quatro fases do L&GBM para implantação em células irmãs.....	107
Figura 25: Grupos de pessoas que estão envolvidas na iniciativa <i>kaizen</i> – para uma célula irmã	108
Figura 26: A análise L&GBM de fluxo de valor – Para lidar com os princípios ambientais, o modelo considera todos os fluxos de valor que compõem uma instalação física.	110
Figura 27: Limites do L&GBM para um fluxo de valor	111
Figura 28: 5 fases do L&GBM para melhoria de desempenho fluxo de apoio em uma fábrica.	112
Figura 29: Grupo de pessoas que estão envolvidas na iniciativa <i>kaizen</i> – Para um FV	113
Figura 30: L&GBM para um fluxo de valor – estrutura <i>Kaizen</i>	114
Figura 31: L&GBM para um fluxo de valor de estrutura de ciclo de melhoria de 2-3 anos.....	115
Figura 32: L&GBM para um planejamento final de fluxo de valor integrado ao sistema SGA local (ISO 14001)	116
Figura 33: 10 benefícios e obstáculos principais do L&GBM segundo especialistas da GKN Global .	127
Figura 34: Ideia geral da aplicação do L&GBM para um fluxo de valor nas operações da GKN Driveline do Brasil.....	138
Figura 35: Operações da GKN Driveline do Brasil: fluxos de massa e energia que serão investigados	138
Figura 36: Exemplo de revisão ambiental de chão de fábrica desenvolvido durante o fluxo <i>kaizen</i> nível 2.....	143
Figura 37: Parte a: matriz de priorização células <i>Lean & Green</i>	146
Figura 38: Parte b: matriz de priorização células <i>Lean & Green</i>	147
Figura 39: Lista de <i>Kaizens</i> de fluxo nível 1 desenvolvidos ao longo de 2012	148
Figura 40: L&GBM para FV – análise de custo 2011 x 2012.....	150
Figure 1: The main objective of the study.....	185
Figure 2: Basic literature – the main pillars for this research	192
Figure 3: Individual bodies of background literature that integrate this research.....	193
Figure 4: Operations management performance objectives- Overview of internal and external effects.	195
Figure 5: Role and contribution of the operations function in each stage of the organization strategic process	196
Figure 6: House of Lean.....	198

Figure 7: Lean improvement stages	198
Figure 8: Sustainable development vectors.....	203
Figure 9: The case for compression, reprinted here with kind permission ©Robert Hall.....	208
Figure 10: The three vectors presented by the sustainability concept based on compression thinking	209
Figure 11: Schematic representation of literature analysis	215
Figure 12: Fundamental ideas identified along the literature analysis.....	232
Figure 13: Research structure applied for the development of the L&GBM.....	236
Figure 14: GKN Driveline Brazil Environmental Performance along 2010, 2011 and 2012 and 2013 target.....	242
Figure 15: The five dimensions of the L&GBM.....	248
Figure 16: Positioning the L&GBM	249
Figure 17: The manufacturing three level of flow based for lean thinking organizations.....	251
Figure 18: Example of the mass and energy flow analysis applied by the Lean and Green Model	252
Figure 19: The principles of the L&GBM	253
Figure 20: The house of lean and L&GBM.....	257
Figure 21: Mass and energy flow analysis using the Lean & Green Model at the cell level and evaluated according to operations	258
Figure 22: The five-step Lean & Green Model for improving the performance of supporting flows in a production cell	259
Figure 23: Groups of people that are involved in the kaizen initiative – For a cell.....	261
Figure 24: 4 steps L&GBM for roll-out to sister cells	263
Figure 25: Groups of people that are involved in the kaizen initiative – For a sister cell.....	264
Figure 26: The L&GBM analysis of a value stream – In order to cope with the environmental principles the model considers all the value streams that compose one physical location.....	266
Figure 27: Boundaries of the L&GBM to a value stream	267
Figure 28: 5 Steps L&GBM for improving supporting flows performance in a factory.....	268
Figure 29: Groups of people that are involved in the kaizen initiative – For a VS.....	269
Figure 30: L&GBM to a value stream – Kaizen structure	270

Figure 31: L&GBM to a value stream 2-3 year improvement cycle structure	271
Figure 32: L&GBM to a value stream final planning integrated to the site EMS (ISO 14001) system	272
Figure 33: L&GBM 10 key benefits and barriers according to GKN Global specialists	283
Figure 34: Overall idea of the L&GBM for a value stream application at GKN Driveline Brazil operations	294
Figure 35: GKN Driveline Brazil operations: mass and energy flows that will be studied during the kaizens.....	294
Figure 36: Example of shop floor environmental review developed during the 2 nd level flow kaizen	299
Figure 37: Part a: Lean and Green cells prioritization matrix	301
Figure 38: Part b: Lean and Green cells prioritization matrix	302
Figure 39: List of 1st level flow kaizens developed along 2012	303
Figure 40: L&GBM for VS – 2011 x 2012 cost analysis	305

LISTA INTEGRADA DE TABELAS / INTEGRATE LIST OF TABLES

Tabela 1: Quatro dimensões de uma empresa <i>lean</i>	40
Tabela 2: Os sete desperdícios clássicos	42
Tabela 3: Visão geral das estratégias essenciais para alcançar a sustentabilidade.....	46
Tabela 4: Visão geral das estratégias principais para alcançar a sustentabilidade.....	53
Tabela 5: Literatura de ponta de blocos de construção básicos.....	56
Tabela 6: Estrutura da análise da literatura	58
Tabela 7: Exemplos de estratégias de sustentabilidade/corporativa e suas contribuições	62
Tabela 8: Artigos que mostram integração entre ideias do pensamento <i>lean</i> e práticas <i>green</i>	65
Tabela 9: Artigos que exploram a ideia de abordagens integradas para conectar pensamento de negócio (tal como <i>lean</i>) e o <i>green</i>	67
Tabela 10: Tabela que resume impacto ambiental e desperdício	70
Tabela 11: Projeto de pesquisa aplicado para o desenvolvimento do L&GBM.....	77
Tabela 12: Atividades desenvolvidas em cada fase do desenvolvimento da pesquisa e cronograma .	79
Tabela 13: Descrições gerais dos cinco ciclos de melhoria desenvolvidos para analisar o L&GBM	82
Tabela 14: Visão ambiental da GKN Driveline do Brasil – Alguns resultados e desempenho ambiental	84
Tabela 15: Tabela comparando o L&GBN com os pensamentos <i>lean</i> puro e <i>green</i> puro	98
Tabela 16: Principais características do L&GBM para os três níveis de fluxos.	117
Tabela 17: Características ambientais e de manufatura das células-piloto onde foi aplicado o L&GBM, incluindo a aplicação e avaliação dos pré-requisitos.	119
Tabela 18: L&GBM para uma Célula - Cronograma <i>Kaizen</i>	121
Tabela 19: Resultados do evento <i>Kaizen</i> : Identificação de oportunidades de melhoria para os fluxos de massa.....	122
Tabela 20: Resultados da implementação Monobloco A e Montagem 20.....	123
Tabela 21: Input dos especialistas da GKN Global em relação aos benefícios e obstáculos de expandir o L&GBM em todo o grupo, com a inclusão de algumas citações.....	124
Tabela 22: Características de manufatura e ambientais de Eixo A, Tripeça A, JF C, FP B, incluindo a avaliação de pré-requisitos	129

Tabela 23: Características de manufatura e ambientais de Gaiola A, FP A, AIR A, incluindo a avaliação	130
Tabela 24: Resultados dos sete eventos <i>kaizen</i> desenvolvidos no decorrer de 2011	131
Tabela 25: Resultados da implementação de <i>kaizens</i> para Eixo A, Tripeça A, JF C, FP B.....	132
Tabela 26: Resultados da implementação de <i>kaizens</i> para Gaiola A, FP A, AIR A	133
Tabela 27: Características de manufatura e ambientais das células onde o L&GBM foi aplicado, incluindo a aplicação e avaliação de pré-requisitos da célula.	135
Tabela 28: Resultados da implementação de <i>kaizens</i> para Tripeça B_C, AIR B_C_D_E e AIR F_G_H_I	136
Tabela 29: L&GBM para um FV – Escopo do projeto e análise dos pré-requisitos.....	141
Tabela 30: Coleta de dados de fluxos de massa e energia – período de 2011	142
Tabela31: dados coletados para fluxos de massa e energia – período 2012.....	149
Tabela 32: L&GBM para FV – Resultados comparativos de indicadores de custo e ambiental.....	150
Tabela 33: Características ambientais e de manufatura das células piloto onde foi planejado testar o L&GBM para células na GKN, incluindo a aplicação e avaliação pré-requisitos de células e alguns resultados.....	154
Tabela 34: Análise dos ciclos de melhoria do L&GBM	157
Tabela 35: Principais conclusões dos ciclos de melhoria e oportunidades de melhoria	159
Tabela 36: Questões-chave dos acadêmicos para o L&GBM.....	166
Tabela 37: Resposta do L&GBM para inputs dos especialistas	168
Table 1: Four dimensions of a lean enterprise.....	199
Table 2: The seven classic wastes	201
Table 3: Overview of key strategies to achieve sustainability	204
Table 4: Overview of key strategies to achieve sustainability	211
Table 5: Foreground literature fundamental building blocks	214
Table 6: Literature analysis structure.....	216
Table 7: Examples of sustainability/corporate strategies and its contribution to the sustainability dimensions	220
Table 8: Articles that present integration between lean thinking ideas and green practices.....	222

Table 9: Articles that explore the idea of integrated approaches to connecting business thinking (such as lean) and the green.....	225
Table 10: Table summarizing environmental impact and waste	228
Table 11: Research design applied for the development of the L&GBM.....	235
Table 12: Activities developed in each phases of the research development and timeline.....	237
Table 13: General description of the five improvement cycles developed for analyzing the L&GBM	240
Table 14: GKN Driveline Brazil environmental overview - Some results and environmental performance.....	242
Table 15: Table comparing L&GBM with pure lean and pure green thinking	255
Table 16: Main characteristics of the L&GBM for the three levels of flows.	273
Table 17: Environmental and manufacturing characteristics of the pilot cells where the L&GBM was applied, including the application and evaluation of prerequisites.....	275
Table 18: L&GBM for a Cell - Kaizen Agenda.....	277
Table 19: Results of Kaizen event: Identification of improvement opportunities for the cell mass and energy flows.	278
Table 20: Monobloc A and Assembly 20 implementation results.	279
Table 21: GKN Global specialists' inputs related to the benefits and barriers for rolling-out the L&GBM across the group, with the inclusion of some quoting.	280
Table 22: Shaft A, Tripod A, FJ C, PF B environmental and manufacturing characteristics, including the evaluation of prerequisites	285
Table 23: Cage A, PF A, AIR A environmental and manufacturing characteristics, including the evaluation.....	286
Table 24: Results of the seven kaizen events developed during 2011	287
Table 25: Shaft A, Tripod A, FJ C, PF B kaizens implementation results	288
Table 26: Cage A, PF A, AIR A kaizens implementation results.....	289
Table 27: Environmental and manufacturing characteristics of the cells where the L&GBM was applied, including the application and evaluation of the cell prerequisites.....	291
Table 28: Tripod B_C, AIR B_C_D_E and AIR F_G_H_I kaizens implementation results.....	292
Table 29: L&GBM for a VS – Project scope and analysis of prerequisites	297
Table 30: Data collected for mass and energy flows – 2011 period	298

Table 31: Data collected for mass and energy flows – 2012 period	304
Table 32: L&GBM for VS - Comparable results of Cost and Environmental Indicators.....	305
Table 33: Environmental and manufacturing characteristics of the pilot cells where the L&GBM for cell was planned to be tested in GKN, including the application and evaluation cell prerequisites and some results	309
Table 34: L&GBM improvement cycles analysis	312
Table 35: Improvement cycles key finding and improvement opportunities.....	314
Table 36: Key questions from academia for the L&GBM	
Table 37: L&GBM response to specialist’s inputs	

RESUMO

A preocupação mundial com a sustentabilidade tem levado as organizações a investigar, cada vez mais, alternativas para melhorar a sua desempenho ambiental e, assim, garantir o desenvolvimento dos seus negócios de forma sustentável. Com o passar dos anos, a literatura tem apresentado diferentes estratégias para apoiar a evolução de empresas ambientalmente conscientes, embora muito pouco tenha se explorado com relação ao potencial para promover a sustentabilidade inerente às práticas de manufatura já existentes.

Com o propósito de promover o desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua, *lean thinking*, ou pensamento enxuto, descreve uma filosofia de trabalho aplicada por muitas empresas de manufatura, a qual foca a eliminação de desperdícios e a aplicação de recursos somente onde há criação de valor para o cliente final. Seguindo essa ideia, o mesmo pensamento de se fazer mais com menos do *lean thinking* pode ser adaptado para a melhoria dos fluxos que são suporte à produção, isto é materiais, energia e geração de resíduos os quais causam significativo impacto ambiental, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de negócios mais sustentáveis.

A literatura apresenta diversas evidências nas quais não só o uso da filosofia *lean* ajudou na redução de impacto ambiental, mas também exemplos em que a integração dos conceitos de *lean* e meio ambiente, *Lean e Green*, é positiva e complementar para redução de resíduos e perdas na produção. Entretanto, não foram encontrados outros estudos com o propósito específico de utilizar o *lean* para redução do impacto ambiental na manufatura, incluindo a utilização de um pré-requisito, em termos de nível de desenvolvimento e conhecimento de *lean*, como requerimento crítico para sua aplicabilidade.

O principal objetivo desse projeto é propor um novo modelo, chamado de Lean & Green Business Model (L&GBM). Integrando conceitos de *lean* e meio ambiente através do desenvolvimento de *kaizens* em células e em todo fluxo de produção, o modelo desenvolvido tem como principal objetivo a redução do impacto ambiental gerado por processos produtivos.

O projeto desenvolvido reporta os resultados da aplicação do Modelo *Lean e Green* em uma corporação multinacional de engenharia, incluindo os resultados do desdobramento do mesmo em diferentes circunstâncias: (1) teste piloto em duas células, (2) aplicação do modelo em sete células, (3) aplicação do modelo para células irmãs, (4)

aplicação do modelo para fluxo de produção, (5) aplicação do modelo em diferentes ambientes da manufatura. Alguns dos principais resultados identificados até este momento através do desenvolvimento dessa pesquisa incluem: (i) *L&GBM* é uma boa estratégia de prevenção da poluição, reduzindo de 12 a 35% a aplicação dos fluxos de massa e energia, (ii) *L&GBM* pode ser usado para reduzir custos, isto é, custos da manufatura de 2 a 8%, (iii), *L&GBM* adiciona uma nova dimensão ao modelo tradicional de *lean*, (iv) *L&GBM* integra completamente os conceitos de *lean* e sustentabilidade ambiental e (v) *L&GBM* requer um nível de estabilidade na manufatura para ser aplicado.

Palavras-chave: Lean e Green, Lean, Kaizen, Práticas Ambientais, Sustentabilidade, Fluxos de Massa e Energia.

ABSTRACT

Global awareness regarding environmental sustainability has prompted enterprises to investigate different alternatives for improving environmental performance in order to deploy sustainable businesses. There is a growing body of literature proposing different sustainability alternatives for environmentally-conscious firms, although not many have really explored the sustainability side of existent manufacturing strategies.

With the purpose of promoting a continuous improvement culture within the business, lean thinking describes a working philosophy applied by many manufacturers, which considers the expenditure of resources for any goal other than the creation of value for the end customer, to be wasteful. Therefore, the same idea of doing more with less from lean thinking can be applied for improving material, energy flows and wastes streams that cause significant environmental impacts, thus supporting the development of a sustainable business. There has been lots of anecdotal evidence that a lean approach can help make the business case for environmental impact reduction and an integrated Lean and Green works for (1) reduction of production waste, (2) reduction of environmental impact but little empirical evidence to substantiate this.

The main objective of this project is to propose a new model, which is called Lean & Green Business Model (L&GBM). In this model, environmental sustainability is integrated into pure lean thinking. The model presented in here adopts a Kaizen approach to improve mass and energy flows in manufacturing environments that already possess the necessary deployment level to apply lean thinking. Evidence-based results are first reviewed. It is presented findings to support the need of manufacturing stability as a prerequisite for integrating lean and green at the manufacturing level. The integrated lean and green approach results in (i) a reduction in production waste and (ii) a reduction in environmental impact.

The project reports the findings of application of the model in a major engineering international corporation, including the results of the model deployment in several different circumstances: (1) pilot testing in two cells, (2) cell roll out in seven cells, (3) application for sisters' cells, (4) application for a value stream and (5) application in different manufacturing environments. Some of the research key findings identified include: (i) L&GBM is a good pollution prevention strategy, reducing from 12 to 35% mass and energy flows, (ii) L&GBM

can be used to reduce costs, reducing operational manufacturing mass and energy flow costs by 2 to 8%, (iii) L&GBM introduces a new dimension into traditional lean thinking, the environmental concerns, motivating a conceptual transition, (iv) L&GBM fully integrates lean thinking and green thinking, merging the fundamental principles of lean and green thinking (v) L&GBM requires a sufficient level of manufacturing stability and lean deployment prior to its introduction.

Keywords: Lean and Green, Lean, Kaizen, Environmental Practices, Sustainability, Mass and Energy Flows

VERSÃO EM PORTUGUÊS

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Albert Einstein disse uma vez: ***“Não podemos resolver os nossos problemas com o mesmo tipo de pensamento usado quando estes foram criados”.***

Mas na vida real, quantas vezes realmente tentamos resolver os problemas usando ideias diferentes, tentando compreender novos paradigmas e, ainda, aplicando novas formas de pensamento?

Pensamento sistêmico é um processo utilizado para compreender como os elementos de um sistema influenciam uns aos outros e conseqüentemente o todo. Enquanto cultura, estamos descobrindo que não podemos compreender os maiores problemas do nosso tempo isoladamente. Trata-se de problemas sistêmicos, que são por natureza, interconectados e interdependentes. O tipo de pensamento a ser aplicado precisa enfatizar o todo em detrimento das partes. Enquanto a ciência clássica enfatiza que o comportamento de um sistema complexo pode ser melhor analisado em termos das propriedades de suas partes, o pensamento sistêmico inverte esta equação, mostrando que as propriedades das partes não são intrínsecas e podem ser melhor compreendidas em um contexto maior.

De acordo com Capra (1996) a compreensão da realidade baseada na interdependência e conectividade essencial dos elementos reestabelece a nossa conexão humana com toda a teia da vida. Sistemas vivos apresentam os mesmos princípios básicos das organizações. São teias fechadas, mas que se abrem para os fluxos de energia e recursos. Suas estruturas são determinadas pela sua história. Possuem inteligência própria em virtude da dimensão cognitiva existente nos processos da vida. Em linguagem de negócio, a interconexão entre ideias e conceitos existe mesmo quando não há intenção real para que estas ocorram.

Baseados nos conceitos de pensamento sistêmicos, o conceito de sustentabilidade está promovendo um debate global, no qual tem no atendimento das necessidades humanas um dos seus principais objetivos (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987). Quando esta ideia é transposta para o mundo dos negócios, sustentabilidade corporativa é definida como a capacidade de uma organização em atender as necessidades de suas partes interessadas diretas e indiretas (acionistas, colaboradores, clientes, comunidade) sem comprometer a habilidade das futuras gerações de manterem

esse atendimento. Através desse objetivo, a empresa deve manter o crescimento do seu capital econômico, social e ambiental, enquanto contribui ativamente para a sustentabilidade pertencente ao seu domínio político de atuação. Com esta definição, três elementos-chave de sustentabilidade corporativa podem ser identificados: a integração equilibrada entre as dimensões econômica, ambiental e social do negócio.

Nesse sentido, a melhoria do bem estar humano e do progresso são vitalmente dependentes da gestão dos ecossistemas terrestres a fim de garantir sua conservação e utilização sustentável. Todavia, enquanto as demandas para os serviços promovidos pelos ecossistemas, como comida e água potável, aumentam, a ação humana diminui a capacidade dos ecossistemas em atender estas demandas. Políticas e ações de gestão podem reduzir a degradação dos ecossistemas. Entretanto, a compreensão de quando e como intervir requer uma análise holística do problema, incluindo a análise de aspectos ecológicos ou ambientais, dos sistemas sociais e, ainda, de questões econômicas ou do negócio.

E o que acontece quando tentamos resolver este problema tentando compreender os princípios de sustentabilidade existentes dentro dos ambientes de manufatura? Nos anos 80's muitos modelos de como se "tocar", de forma eficiente e efetiva uma organização de manufatura, foram criados. Este processo, desenvolvido pós-produção em massa, foi denominado produção enxuta ou "produção *lean*" e, mais recentemente, de pensamento enxuto ou "*lean thinking*". As origens da "abordagem *lean*" podem ser atribuídas a temores dos Estados Unidos de que as montadoras japonesas emergentes mantinham uma vantagem competitiva sobre seus estabelecidos correspondentes ocidentais. Esses temores promoveram estudos de *benchmarking* da indústria automotiva global para testar esses medos e encontrar as causas de tal vantagem. Os resultados desses estudos foram relatados na publicação "A Máquina que Mudou o Mundo", de Womack et al. (1990).

Lean thinking (WOMACK e JONES, 1998) descreve um negócio de manufatura mais eficiente, baseando-se exclusivamente nas dimensões originais da manufatura, segurança, qualidade, entrega e custo. Entretanto, uma visão mais sistêmica do que realmente seria necessário para modificar o *mindset* da manufatura não foi considerado. Isto se deve ao fato de que muitos de nós e, especialmente nossas grandes instituições, aderem aos conceitos e premissas de uma visão de mundo obsoleta, uma percepção de realidade inadequada para lidar com nosso mundo superpopuloso e interconectado.

Einstein também disse: **“Aprenda com o passado, viva o presente e tenha esperança para o futuro. O importante é nunca parar de se questionar.”**

Este período em que vivemos (BURKE, 2006) é marcado por constantes encontros de todos os tipos, seguindo a tendência global: a mistura ou hibridização. Compreendendo que há diferentes formas para ser sustentável em um ambiente de manufatura, este projeto pretende promover o encontro de duas formas diferentes de pensamentos: pensamento enxuto ou “pensamento *lean*” e pensamento sustentável ou “pensamento *green*”.

Nós sabemos que paredes ou estruturas organizacionais não são capazes de impedir o fluxo de ideias. Mas, isso também não significa que estas consigam fluir tão fácil e livremente. Pensamentos “*lean*” e “*green*” possuem origens distintas e ocupam espaços diferentes no mundo dos negócios. A ideia desse projeto é compreender as particularidades de ambas as formas de pensamento, entender características individuais, fronteiras, linguagens. Também se espera estabelecer uma conexão entre ambas, explicando uma à outra e criando um modelo integrado capaz de catalisar as principais características de ambas. Em eventos do tipo *kaizen* será o momento aonde estas duas formas de pensamento irão se encontrar. Palavra japonesa para “melhoria”, *kaizen* refere-se a uma filosofia ou prática que foca na melhoria contínua dos processos. Quando usado no mundo dos negócios e aplicado no local de trabalho, *kaizen* refere-se a atividades de melhoria contínua de todas as funções, envolvendo todos os funcionários, dos operadores ao presidente.

Dessa forma, o principal objetivo desse estudo é propor um novo modelo, L&GBM - modelo para um negócio “*lean e green*”, ou modelo para um negócio enxuto e verde – no qual a dimensão ambiental da sustentabilidade é adicionada aos conceitos básicos de pensamento *lean* a fim de criar uma nova forma de pensamento capaz de contribuir de forma balanceada para as três dimensões da sustentabilidade (econômico, social e ambiental), utilizando o modelo de *kaizen* para lidar e melhorar o uso dos fluxos de massa e energia de um ambiente de manufatura que já possui certo nível de estabilidade operacional e de desenvolvimento na aplicação dos conceitos de pensamento *lean*. O modelo desenvolvido objetiva ter as seguintes características:

1. Uso do pensamento *lean* para lidar com as questões ambientais da manufatura, integrando as principais premissas das práticas de sustentabilidade ambiental, (1) redução de impacto ambiental e (2) melhoria no uso de recursos naturais, com já existente forma de trabalho da manufatura;

2. Uso da abordagem de *kaizen* para lidar e melhorar os fluxos ambientais de massa e energia de uma célula de produção e de um fluxo de valor;
3. A ideia de melhoria de sustentabilidade operacional através da otimização dos fluxos de suporte a produção – fluxos de massa e energia de um sistema composto por uma célula produtiva ou um fluxo de valor (tudo que entra e sai do sistema).

A **Figura 1** apresenta a função principal do estudo.

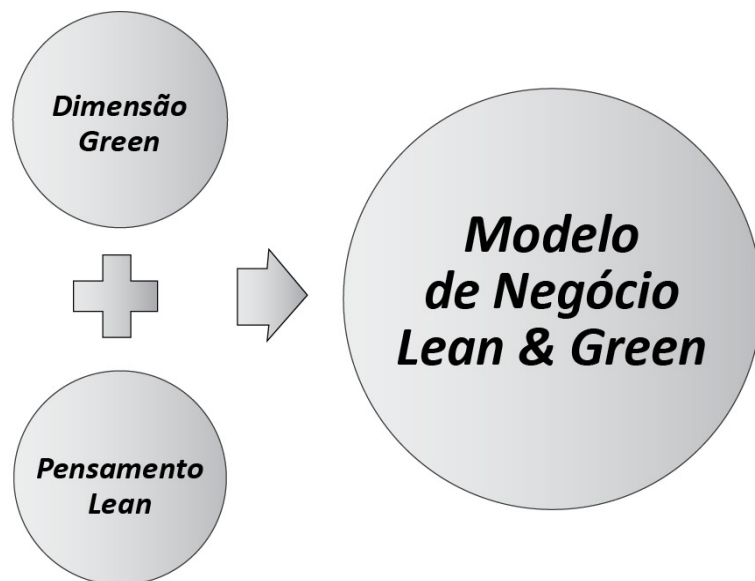


Figura 1: O objetivo principal do estudo
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Einstein também disse: **“Nenhum problema pode ser resolvido com o mesmo nível de consciência com o qual ele foi criado”**.

Esta pesquisa objetiva propor um novo arquétipo, isto é, um modelo capaz de traduzir a linguagem ambiental como também a intenção das práticas de sustentabilidade ambiental de prevenção da poluição, melhoria de desempenho ambiental e melhoria dos fluxos de massa e energia para o mundo da manufatura. Em outras palavras, isto significa olhar para os problemas ambientais com o olhar da manufatura, de uma forma diferente, compreendendo as práticas e ferramentas utilizadas nessa e adaptando-as com bases em premissas ambientais, para apoiar o desenvolvimento de negócios sustentáveis. L&GBM objetiva traduzir, transcodificar a linguagem ambiental para o mundo da manufatura, aplicando o pensamento *lean* para resolver problemas ambientais. Dessa forma, este projeto está focando em responder as seguintes perguntas de pesquisa:

1. **As práticas de manufatura enxuta podem ser adaptadas e usadas como uma estratégia para atingir a sustentabilidade ambiental de um negócio?**
2. **Quais são conceitos e premissas fundamentais das práticas de sustentabilidade ambiental que deveriam ser integradas às práticas de manufatura enxuta, a fim de apoiar as estratégias do negócio para atingir sustentabilidade?**
3. **Por que um modelo integrado é diferente da aplicação das práticas de “pensamento enxuto” ou “pensamento *lean*” e “pensamento sustentável” ou “pensamento *green*” individualmente?**
4. **Como os conceitos de *lean* e sustentabilidade podem ser integrados e colocados em prática em um ambiente de manufatura?**

O objetivo é entender e responder as perguntas acima. Esta pesquisa tentará investigar a aplicação dos conceitos de *lean* e sustentabilidade, enxuto e verde (*lean and green*) através do desenvolvimento de um modelo (L&GBM) a ser aplicado na manufatura. Através da aplicação do pensamento *lean* para resolver problemas ambientais, o L&GBM será focado na melhoria dos fluxos de apoio de manufatura (água, energia, materiais, efluentes, produtos químicos, resíduos), com o objetivo final de otimizar o desempenho geral do processo, reduzindo custos e impactos ambientais significativos. Além disso, a fim de criar a base para a implantação do L&GBM, esta pesquisa explora alguns dos blocos fundamentais de construção da gestão de operações, pensamento *lean*, sustentabilidade e conceitos *green*. Propõe a estrutura e dinâmica do modelo e relata a aplicação do modelo desenvolvido em uma grande corporação internacional de engenharia. Os resultados das aplicações são apresentados, analisados e conclusões são propostas.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA:

O objetivo deste projeto é: *Desenvolver um modelo testável para um negócio enxuto e verde (Lean and Green Business Model (L&GBM)), como uma estratégia para atingir a sustentabilidade ambiental do negócio, através da integração dos conceitos do pensamento enxuto (lean thinking) com os fundamentos básicos das práticas de sustentabilidade ambiental.*

Com relação aos objetivos específicos, este projeto está baseado no desenvolvimento dos seguintes itens:

1. Discutir como um modelo integrado pode ser diferente dos modelos tradicionais de pensamento *lean* e práticas de sustentabilidade ambiental.
2. Aplicar o L&GBM em uma unidade de manufatura piloto, avaliando sua aplicação em três circunstâncias diferentes: (1) aplicação do modelo para o primeiro nível de fluxo ou célula; (2) aplicação do modelo para células irmãs; (3) aplicação do modelo para o segundo nível de fluxo ou fluxo de valor.
3. Discutir mudanças, barreiras e benefícios para implantar o L&GBM em corporação global de manufatura, tendo esta diferentes tipos de ambientes produtivos.

1.2 DEFINIÇÃO DE ÂMBITO DE ESTUDO E LIMITAÇÕES

O âmbito de estudo desta pesquisa está baseado em quatro temas principais: (1) gestão de operações, (2) pensamento *lean*, (3) sustentabilidade e (4) pensamento *green*. Para desenvolver o L&GBM, o projeto terá uma abordagem sistêmica para entender como esses sistemas influenciam uns aos outros e o todo. Para responder às questões de pesquisa levantadas e discutir o modelo desenvolvido, o L&GBM será aplicado em uma unidade de produção piloto, a GKN Driveline do Brasil (unidades de Porto Alegre e Charqueadas), que faz parte da grande corporação de engenharia do Reino Unido, a GKN PLC. Portanto, as limitações desta pesquisa incluem:

- Este estudo pretende entender basicamente os blocos de construção e principais características dos quatro temas de que se compõe: (1) gestão de operações, (2) pensamento *lean*, (3) sustentabilidade e (4) pensamento *green* para construir o L&GBM. Individualmente, eles são tópicos de estudo desenvolvidos em suas áreas específicas, com um extenso número de elementos e alto nível de complexidade. Portanto, características detalhadas, padrões de evolução e detalhes de ferramentas aplicadas não serão considerados neste estudo.
- L&GBM é um modelo genérico, desenvolvido e limitado a ser aplicado em empresas de manufatura. Sua implementação é restrita a empresas de manufatura que são capazes de atender aos pré-requisitos estabelecidos pelo modelo. A aplicação do L&GBM para outros tipos de negócios, tais como serviços, não é objeto deste estudo. Além disso, os resultados relativos a respeito da aplicação do L&GBM

podem ser generalizados apenas para as empresas de manufatura que são capazes de cumprir os pré-requisitos estabelecidos pelo modelo.

- Embora o L&GBM seja um modelo genérico, desenvolvido e limitado a ser aplicado em empresas de manufatura, os resultados financeiros e ambientais absolutos da aplicação do L&GBM são restritos e específicos para a unidade de produção piloto, a GKN Driveline do Brasil (unidades de Porto Alegre e Charqueadas), na qual o modelo foi aplicado e testado. A aplicação do modelo em outros tipos de empresas de manufatura será discutida, mas o impacto ambiental global e o resultado financeiro da aplicação do L&GBM, em termos absolutos, são específicos para este negócio.
- O objeto de estudo do L&GBM são os fluxos de massa e energia, os fluxos de suporte de produção, para fluxos de valor de produção. O estudo de produto e fluxo de produção não será analisado neste trabalho.
- L&GBM estará avaliando os aspectos ambientais de fluxo de valor de acordo com os conceitos da ISO 14001 (ISO 14001,2004). A identificação da redução de impacto para o L&GBM será restrita aos estudos de massa e equilíbrio energético.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

Para apresentar o L&GBM, os resultados alcançados, as análises dos resultados e conclusões, este projeto de PhD será dividido de acordo com a seguinte estrutura:

- o **Capítulo 2** apresenta a revisão da literatura, explorando as características principais, dimensões, blocos de construção básicos e principais ferramentas dos quatro braços principais da literatura que compõem este estudo: **(1)** gestão de operações, **(2)** pensamento *lean*, **(3)** sustentabilidade e **(4)** pensamento *green*.
- o **Capítulo 3** propõe uma análise das lacunas e interações dos blocos individuais da literatura que compõem este trabalho para estabelecer a base para o L&GBM, incluindo **(1)** análise *lean & green* sob uma perspectiva de operações, **(2)** análise *lean & green* sob uma perspectiva de sustentabilidade, **(3)** análise *green* sob uma perspectiva *lean* e **(4)** análise *lean* sob uma perspectiva *green*.
- o **Capítulo 4** introduz o método de pesquisa utilizado para desenvolver o L&GBM e a unidade de produção piloto onde o modelo será aplicado e testado.

- o **Capítulo 5** dedica-se a explicar o projeto e as características básicas do Lean & Green Business Model (L&GBM) - modelo para um negócio “*lean & green*”, incluindo **(1)** a finalidade do L&GBM, **(2)** os princípios do L&GBM, **(3)** as formas de trabalho do L&GBM, **(4)** por que o L&GBM é diferente do pensamento *lean e green* puro, **(5)** o L&GBM para uma célula, **(6)** o L&GBM para as células irmãs e **(7)** o L&GBM para um fluxo de valor.
- o **Capítulo 6** apresenta os resultados da aplicação do L&GBM e está dividido em **(1)** L&GBM para um teste de célula piloto, **(2)** L&GBM para a célula **(3)** L&GBM para aplicação em células irmãs, **(4)** L&GBM para aplicação em fluxos de valor, **(5)** aplicação do L&GBM em diferentes ambientes de produção.
- o **Capítulo 7** propõe a discussão dos resultados. Inclui **(1)** a análise dos principais resultados relacionados à aplicação do L&GBM e **(2)** a discussão de obstáculos para a aplicação do L&GBM em diferentes ambientes de produção, **(3)** revisão das perguntas e objetivos da pesquisa, **(4)** análise da contribuição ao conhecimento e **(5)** análise das contribuições para a prática.
- o **Capítulo 8** apresenta as conclusões, as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

Sustentabilidade tornou-se um legado para o século 21. Ele encarna a promessa de evolução da sociedade rumo a um mundo mais justo e mais rico, em que o ambiente natural é preservado para as próximas gerações. A busca pelo crescimento econômico e equidade social tornou-se um dos principais objetivos na maior parte dos últimos 150 anos. Ao adicionar preocupação com a capacidade de suporte dos sistemas naturais, sustentabilidade une os principais desafios atuais que a humanidade enfrenta.

Embora as questões que incorporam a sustentabilidade tenham mais do que um século de idade, o próprio conceito de desenvolvimento sustentável foi descrito no final dos anos 80, na sequência do relatório Brundtland, um relatório elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Ele descreve a crescente conscientização global sobre os enormes problemas ambientais enfrentados pelo planeta, e propõe uma crescente mudança no sentido de ação ambiental global. A preocupação com a sustentabilidade incentivou a sociedade a apoiar o desenvolvimento de um número significativo de práticas corporativas, muitas aplicadas ao negócio de manufatura, tais como Ecologia Industrial, Simbiose Industrial, Prevenção da Poluição, Produção Mais Limpa, etc. com o objetivo final de apoiar as dimensões da sustentabilidade de (1) o lucro, (2) pessoas e (3) planeta. Apesar de todos esses estudos e práticas terem contribuído para criar um novo paradigma mundial, muito poucos foram capazes de contribuir plenamente para todas as dimensões da sustentabilidade (LOZANO, 2012).

O desenvolvimento sustentável une a preocupação com a capacidade de suporte dos sistemas naturais com os desafios sociais que a humanidade enfrenta. Por isso, contém dois conceitos-chave: (1) o conceito de necessidades, em particular as necessidades essenciais da população pobre do mundo, a quem deve ser dada prioridade absoluta, (2) a ideia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social na capacidade do meio ambiente para atender às necessidades atuais e futuras. Todas essas definições de desenvolvimento sustentável propõe compreender o mundo como um sistema - um sistema que conecta o espaço e o tempo. Portanto, o conceito de desenvolvimento sustentável tem suas raízes no pensamento sistêmico.

Pensamento dos sistemas é baseado na convicção de que as partes componentes de um sistema podem ser melhor entendidas no contexto de relações entre si e com outros

sistemas, ao invés de em isolamento. É o processo de entender como as coisas, considerados sistemas, influenciam-se mutuamente dentro de um todo. É uma abordagem para a resolução de problemas, ao ver "problemas" como partes de um sistema global, em vez de reagir a parte específica, os resultados ou eventos e, potencialmente, contribuir para um maior desenvolvimento das consequências não intencionais. (CAPRA, 1996).

"... manufatura é o jogo constante de fazer mais com menos...", portanto, gerentes de produção estão constantemente à procura de novas abordagens para aumentar a eficiência (HOPP e SPEARMAN, 2008). Com o objetivo de promover uma cultura de melhoria contínua dentro da empresa, os gastos com recursos para qualquer objetivo, além da criação de valor para o cliente final, são considerados desperdício. O pensamento *lean* é uma dessas estratégias que estão sendo exploradas pela produção para aumentar o desempenho. A lógica do pensamento *lean* pode ser redesenhada e integrada ao conceito sistêmico de sustentabilidade.

"... um grama de prevenção é melhor do que um quilo de cura...", portanto, usando menos energia, material, gerando menos desperdício é a prevenção, e tão bom para o meio ambiente (BASS, 2007). Minimizar o desperdício produzido na manufatura, reduzir o consumo de energia e utilizar materiais e recursos de forma mais eficiente pode levar a redução de custos financeiros e a redução de impactos ambientais. Portanto, integrando ambos os conceitos, pensamento *lean* e sustentabilidade, oferece as bases para uma nova lógica de negócios, onde os pilares da sustentabilidade, social, econômica e ambiental, pode ser melhor compreendida pela produção e, portanto, apoiar os objetivos de negócio, requisitos e necessidades.

Assim, em uma abordagem de sistemas, não há tal coisa como "problemas de física", "problemas de economia", "problemas de produção", etc., a forma como uma parte afeta o todo depende de outras partes. Para melhorar o desempenho de um sistema, você tem que melhorar as interações, e não as partes. Além disso, a maioria dos gestores tenta solucionar o problema que eles reconhecem. Essa é a razão fundamental pela qual a maioria das intervenções de gestão falha. Na verdade, a maioria dos problemas são melhor resolvidos fora do sistema. As "disciplinas" (física, engenharia, sociologia, marketing, economia, etc.) são simplesmente pontos de vista, formas de olhar para os problemas. "*Lean*" é apenas um caminho. A maioria dos problemas do sistema estão interligados. Muitas vezes, os benefícios resultam de olhar para o sistema de uma maneira diferente.

Seguindo isso, o principal objetivo deste projeto é propor um novo modelo, o *Lean and Green Business Model* (L&GBM) - Modelo de Negócio Enxuto e Verde, onde a dimensão *green*, o aspecto ambiental da sustentabilidade é adicionado ao conceito de pensamento *lean* puro, a fim de criar uma nova forma de pensar, que contribui e equilibra as três dimensões da sustentabilidade (pessoas, lucro e planeta). *Lean* leva a abordagem Kaizen (melhoria contínua) para construção e melhoria dos fluxos de massa e energia em um ambiente de produção que já possui um nível de implantação na aplicação *lean*.

O pensamento sistêmico envolve a compreensão de um sistema, das ligações e das interações entre os elementos que compõem o conjunto do sistema. Considerando isso, a base para esta pesquisa está enraizada em quatro pilares principais: a compreensão sobre o **gestão de operações**, os princípios essenciais que fazem a manufatura se comportar do jeito que está se comportando, o **pensamento *lean*** e por que ele mudou as formas de trabalho nas operações fabris, **sustentabilidade** e **pensamento *green*** e como ele está integrado ao mundo da manufatura. O cruzamento entre estas correntes principais do conhecimento, tal como apresentado na **Figura 2**, irá proporcionar a base para o desenvolvimento do L&GBM.

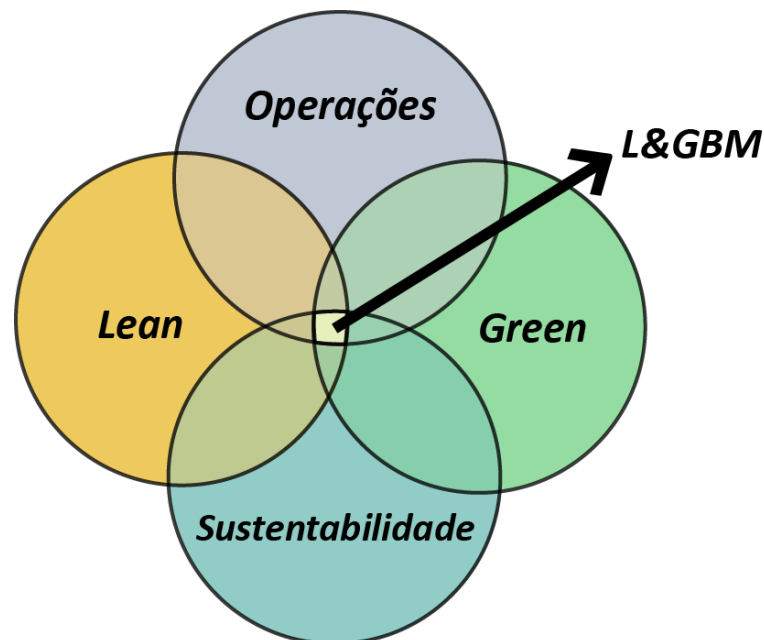


Figura 2: Literatura básica – pilares principais para esta pesquisa
Fonte: Desenvolvido pelo autor

Com base nisso, este capítulo de revisão da literatura irá apresentar as características e estruturas básicas dos principais corpos de literatura que integram esta pesquisa, tais como, (2.1) **Gestão de Operações**, com foco na finalidade, princípios e objetivos, (2.2)

Pensamento *lean*, incluindo finalidade (*House of Lean*), princípios (cinco princípios e sete desperdícios clássicos) e as principais estratégias, práticas, ferramentas (Kaizen), (2.3) **Conceitos de *Compression e Sustentabilidade*** e (2.4) **Pensamento *green***, destacando a sua finalidade, as principais estratégias, práticas, ferramentas.

A **Figura 3** mostra como a estrutura vai apresentar a revisão da literatura, a fim de compor o pano de fundo para a apresentação da L&GBM.

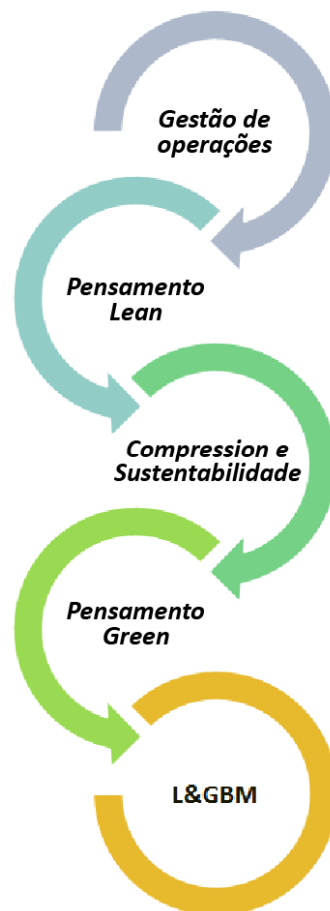


Figura 3: Corpos individuais de literatura que integram esta pesquisa
Fonte: Desenvolvido pelo autor

Na ciência, os pensadores de sistemas consideram que um sistema é um conjunto de partes inter-relacionadas que funcionam como um todo para alcançar um objetivo comum, um todo dinâmico e complexo, interagindo como uma unidade funcional estruturada. Portanto, os subsistemas são interdependentes. A mudança em uma parte afeta outras partes. O todo é maior do que a soma das suas partes.

Os corpos individuais de literatura são subsistemas que compõem o L&GBM, que são interligados, interdependentes e sinérgicos. O entendimento dos corpos individuais da

literatura é a base para compor o L&GBM, chave para criar a unidade funcional desta pesquisa.

2.1 GESTÕES DE OPERAÇÕES

Para Hopp e Spearman (2008), gestão de operações é uma área preocupada com a supervisão, projeto e controle do processo de produção e reformulação das operações de produção de bens e/ou serviços. Envolve a responsabilidade de assegurar que as operações sejam eficientes em termos de utilização de poucos recursos, conforme necessário, e eficaz em termos de atendimento aos seus requisitos. As operações referem-se à aplicação de recursos (capital, materiais, tecnologia, recursos humanos e de conhecimento) para a produção de bens e serviços. Claramente, toda a organização envolve operações. No caso das fábricas, elas produzem bens físicos.

Conforme Hopp e Spearman (2008), as operações se referem a uma função específica em uma organização, distinta das outras funções, tais como design de produto, contabilidade, finanças, etc. As pessoas envolvidas nas operações são responsáveis pelas atividades diretamente relacionadas com a produção de bens e serviços, incluindo a programação, controle de estoque, controle de qualidade, horário dos trabalhadores, gestão de materiais, manutenção de equipamentos, planejamento de capacidade e tudo o que é preciso para colocar o produto no mercado. O ponto de vista de operações se concentra sobre o fluxo de material por uma fábrica e, assim, coloca uma ênfase clara na maioria das principais medidas pelo qual gerentes de produção são avaliadas (produção, atendimento ao cliente, qualidade, custo, investimentos, custo do trabalho e eficiência). Adotando um ponto de vista de operações no processo de design, portanto, promove o design para a manufatura. Operações e planejamento estratégico estão intimamente ligados, uma vez que as decisões estratégicas determinam o número e os tipos de produtos a serem produzidos, o tamanho das instalações de produção, o grau de integração vertical, etc.

De acordo com Slack et al. (2004), o principal objetivo da gestão de operações, o papel que desempenha dentro da organização, é estratégico. Para os autores, a razão pela qual as funções existem é baseada em três funções: implementar a estratégia de negócios (colocá-la em prática), apoiar a estratégia de negócios (que significa o desenvolvimento de

recursos para fornecer os meios dentro da organização para melhorar e aperfeiçoar os objetivos estratégicos) e conduzir a estratégia de negócios (dando vantagem a longo prazo).

Slack et al. (2004) também definem cinco *stakeholders* para a função de operações:

- **Sociedade:** foco na melhoria do bem-estar da comunidade e garantia de ambiente limpo;
- **Fornecedores:** foco no negócio contínuo;
- **Acionistas:** foco no valor econômico e ético do investimento;
- **Empregados:** foco no emprego contínuo, pagamento justo, boas condições de trabalho, desenvolvimento pessoal;
- **Cliente:** foco no preço justo para um produto de qualidade, entregue no prazo; flexibilidade e aceitabilidade.

Os mesmos autores também estabelecem cinco princípios fundamentais para a função de operações:

- **Qualidade:** faça as coisas direito;
- **Velocidade:** faça as coisas com rapidez;
- **Confiabilidade:** faça as coisas no prazo;
- **Flexibilidade:** seja capaz de mudar o que você faz;
- **Custo:** faça as coisas de maneira econômica.

Ao combinar o efeito desses objetivos-chave e seus impactos dentro e fora da organização, é possível antecipar o desempenho global da organização. A **Figura 4** destaca seus comportamentos.

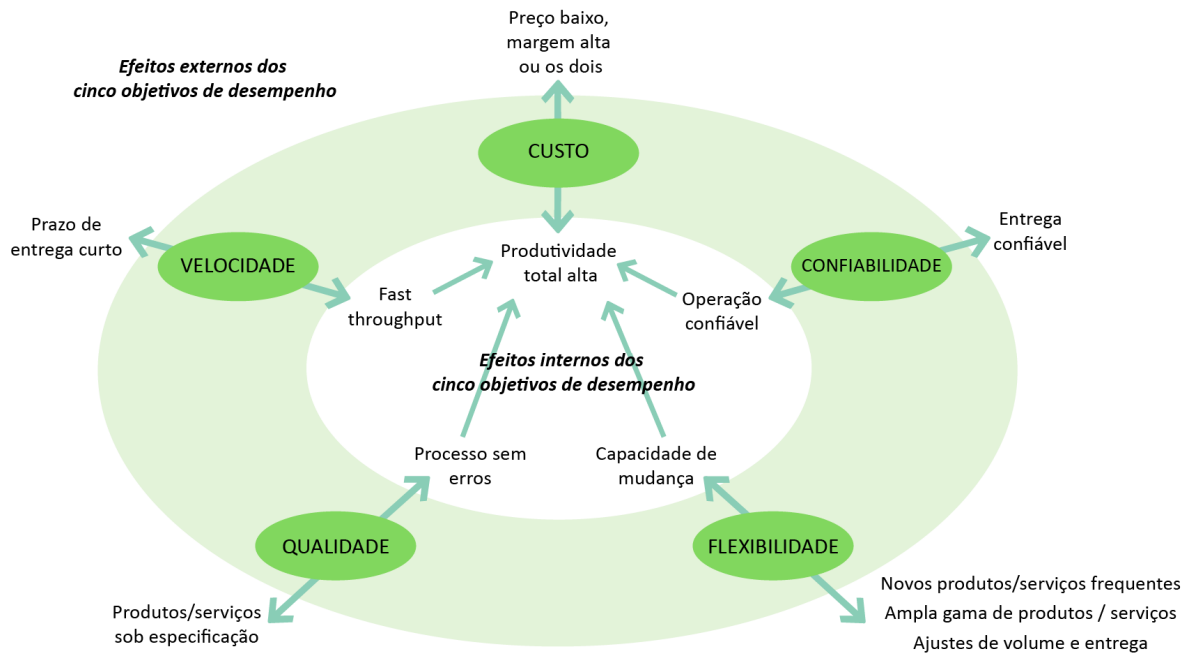


Figura 4: Objetivos do desempenho da gestão de operações - Visão de efeitos internos e externos.
Fonte: SLACK et al., 2004

A capacidade de qualquer operação para desempenhar os papéis dentro da organização (implementação de estratégia de negócios, apoio a estratégia de negócios e impulso a estratégia de negócios), considerando-se objetivos ou aspirações organizacionais, foi chamado modelo de quatro etapas (SLACK et al., 2004), o qual tem sido utilizado para avaliar a contribuição da gestão de operações em qualquer tipo de empresa. São elas:

- **Etapa 1 – neutralidade interna:** a função é internamente reativa com pouca atitude positiva frente ao sucesso competitivo.
- **Etapa 2 – neutralidade externa:** a função de operações está começando a comparar-se com as empresas ou organizações similares, medindo-se contra os concorrentes.
- **Etapa 3 – internamente solidária:** É o limite da função de operações. É onde as funções de operações começam a impulsionar o desempenho e estratégia; não é melhor do que os concorrentes em todos os aspectos, mas lhe cabe amplamente fazer o melhor.
- **Etapa 4 – externamente solidária:** É onde função de operação é a base para o sucesso competitivo. É fundamental para a elaboração da estratégia.

A **Figura 5** mostra a descrição do papel e da contribuição da função de operações em cada etapa.

ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
<ul style="list-style-type: none"> • Parar de atrasar a organização • Corrigir piores problemas • Habilidade para implementar estratégia 	<ul style="list-style-type: none"> • Ser tão bom quanto os concorrentes • Adotar a melhor prática • Habilidade para manter a estratégia 	<ul style="list-style-type: none"> • Ser claramente o melhor na indústria • Conectar estratégia com operações • Habilidade de executar a estratégia 	<ul style="list-style-type: none"> • Redefinir as expectativas da indústria • Dar uma vantagem de operações

Figura 5: Papel e contribuição da função de operações em cada etapa do processo estratégico da organização
Fonte: Adaptado pelo autor.

Entender o papel da Gestão de Operações é essencial para a implantação do L&GBM e para o desenvolvimento deste trabalho.

A ideia de melhorar o desempenho da função de operações olhando para ela e usando lentes diferentes, acrescentando a dimensão *green* na forma como as operações são gerenciadas é o objetivo central desta pesquisa.

2.2. PENSAMENTO LEAN

Manufatura é o jogo constante de fazer mais com menos (HOPP e SPEARMAN, 2008). Por isso, o pensamento *lean* é uma dessas estratégias que mudou completamente a maneira como as operações de manufatura estão sendo desenvolvidas nas últimas décadas. Gordon (2001) afirma que, por décadas, a manufatura *lean* foi considerada a melhor maneira de administrar uma empresa de manufatura.

A partir dos anos 1980, muitos modelos de “como administrar” uma organização de manufatura eficiente e eficaz foram desenvolvidos. Não é nenhuma surpresa que o modelo de “alto desempenho” de fabricação (“fabricação de classe mundial”) foi muito influenciado pela ascensão do Japão como uma nação manufatureira, quando prestigiadas empresas japonesas começaram a criar instalações de produção e montagem na América do Norte e Europa. Estas empresas incluíam a Toyota, Nissan, Honda, Sony, Panasonic, que eram empresas exemplares na área de atuação escolhida. Este rápido crescimento, para se tornar um dos centros mundiais de excelência em manufatura, foi o ponto de partida para descobrir como essas empresas projetavam e operavam seus sistemas de produção para alcançar tal vantagem competitiva. Este processo serviu para produzir um modelo de

manufatura novo e pós-produção em massa que foi chamado de “produção *lean*” e mais recentemente “pensamento *lean*”. Apesar das origens da abordagem *lean* ser a indústria automobilística japonesa, ela foi amplamente copiada por empresas de manufatura ocidentais envolvidas em uma ampla variedade de mercados e setores (RICH et al. , 2006).

2.2.1 As quatro dimensões da empresa *lean*

De acordo com Bicheno (2000), o objetivo geral do pensamento *lean* pode ser descrito em quatro dimensões principais (1) S-Segurança, (2) Q-Qualidade (3), E-Entrega e (4) C-Custo. Isso significa que, “*produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício*” é o objetivo final de uma empresa *lean*. Portanto, o pensamento *lean* centra-se na otimização dos recursos da produção orientados pelo cliente - tempo, pessoas, máquinas, espaço, etc., e, conseqüentemente, reduz desperdícios.

Enquanto cada jornada *lean* é única, há certas características do modelo que são comuns a todos os modelos de implementação *lean*. As características comuns de um sistema e processo de mudança operacional para executar a produção *lean* formam uma ordem natural que é muitas vezes apresentada como “*house of lean*” (**Figura 6**). Isto sugere que a produção *lean* só pode ser alcançada quando é montada corretamente e quando os processos organizacionais principais são reunidos para fortalecê-la. Os fundamentos da “*house of lean*” são disciplinas de operações básicas, o piso consiste em técnicas simples e visuais de controle e as paredes são produzidas a partir de controle de qualidade, manutenção e pilares de fluxo de materiais, que fornecem estrutura e solidez ao sistema. Finalmente, para manter tudo sincronizado e no lugar, há as medidas vinculativas do negócio e o uso de definição de política de fábrica para se concentrar e dar direcionamento aos muitos programas de melhoria da fábrica. Isso não é suficiente para ter um pedaço ou fragmento, a força dos sistemas *lean* está no desenho total do “sistema”.

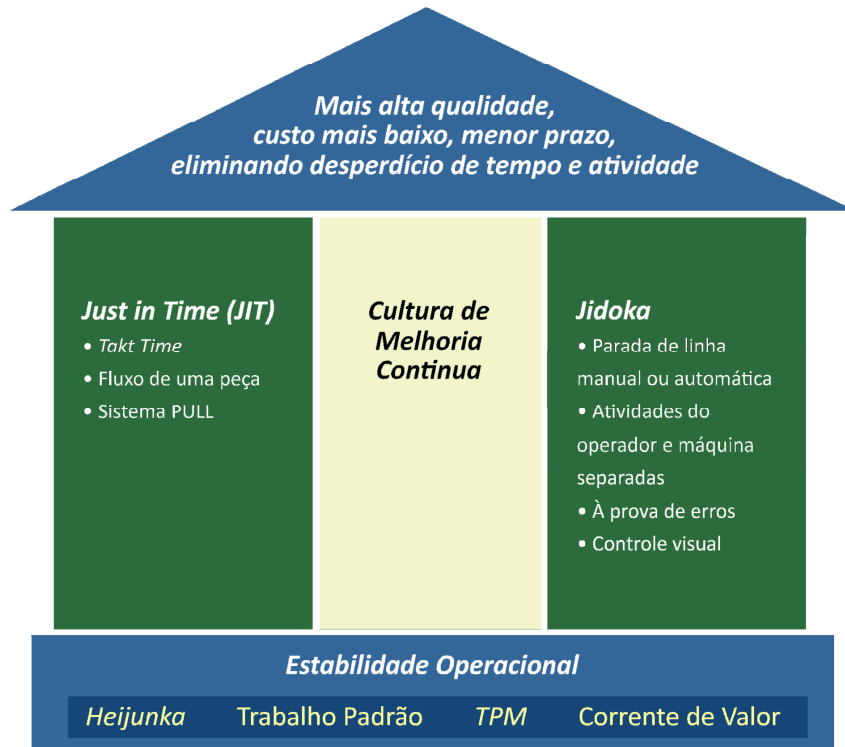


Figura 6: "House of Lean"

Fonte: Adaptado de RICH et al., 2006

A lógica da implementação *lean* é necessária porque ela será usada para obter consenso em toda a organização. Ela é bastante simples e comum a todas as empresas (RICH et al., 2006). A **Figura 7** descreve as etapas de melhoria *lean*, do caos ao controle à vantagem competitiva. A **Tabela 1** se expande na **Figura 7**, descrevendo as dimensões fundamentais de uma empresa *lean*.

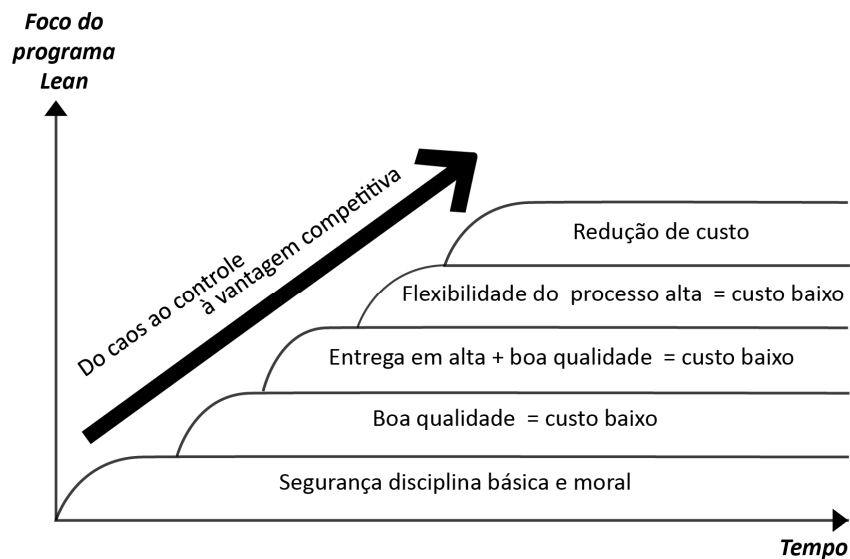


Figura 7: Etapas da implementação *lean*

Fonte: RICH et al., 2006

Tabela 1: Quatro dimensões de uma empresa *lean*

Dimensão	Objetivo Principal	Descrição
Dimensão 1: Segurança	Estabilidade	Não existe negócio de classe mundial em um ambiente com normas de segurança precárias e moral baixo. É difícil obter o melhor das pessoas se a fábrica é uma bagunça e a organização básica não está no lugar. Se a fábrica está desorganizada, é difícil ver a diferença entre bons e maus padrões de conduta profissional. Isso também significa que é difícil ver o valor a partir de desperdício e o perigo que existe até no mais simples dos ambientes de trabalho. É um direito básico esperar que a fábrica seja segura, embora possa não ser de classe mundial ou <i>lean</i> .
Dimensão 2: Qualidade		A segunda etapa na lógica da implementação <i>lean</i> é abordar a qualidade de tudo que é feito na fábrica. Significa entender o valor de fazer o que você faz e como fazê-lo melhor para fornecer níveis mais altos de valor. Esta etapa, assim como a primeira, é projetada para criar estabilidade a partir do caos. Isso também significa que a organização implementou uma estrutura de resolução de problemas, a base da TQM (Total Quality Management – gerenciamento de qualidade total). Melhorar a qualidade melhora a produtividade e reduz o tempo necessário para converter o produto e, portanto, reduz os custos. O sistema de produção <i>lean</i> segue este caminho de “qualidade em primeiro lugar”, já que o aumento de qualidade melhora o valor do cliente.
Dimensão 3: Entrega	Controle	A terceira etapa da lógica <i>lean</i> é a entrega. Se a qualidade é boa e constante, então os produtos devem fluir melhor e, portanto, o tamanho dos lotes e estoques pode ser reduzido para permitir que produtos de qualidade sejam entregues em um prazo de tempo cada vez menor. Melhorar o desempenho de entrega em cada etapa de produção reduz o tempo entre o recebimento e expedição de pedidos de produtos. Terceira etapa envolve a atenção para "problemas de entrega" e a introdução de soluções que comprimem o tempo entre receber o pedido e ser pago por ele.
Dimensão 4: Custo	Vantagem Competitiva	A etapa quatro é onde a questão do custo pode ser abordada de forma eficaz. Com o alto nível de qualidade e desempenho de entrega do sistema de produção, o único desperdício que permanece no ciclo do pedido à entrega é encontrar maneiras de reduzir custos desnecessários. Neste ponto, desperdícios e custo tornaram-se visíveis como partes "anormais" do sistema de produção. Com demasiada frequência, esta fase de melhoria envolve o questionamento das políticas em torno de processo de fabricação e que não foram questionadas desde que o sistema foi projetado. Por isso a redução de custos pode ocorrer e mais desperdício, que não foi detectado durante as etapas anteriores, eliminado do sistema de produção.

Progressivamente, a construção da capacidade de manufatura *lean* trará benefícios locais se explorada corretamente, mas até que os sistemas *lean* básicos de qualidade e desempenho de entrega sejam dominados, não haverá muito a oferecer ao cliente. Por exemplo - reduzir para metade o tempo de preparação para a máquina no processo de produção é realmente sem sentido, até que a mesma economia possa ser alcançada ao longo de todo o sistema, até que a produção aumente em todo o processo. Para as empresas que não entendem a lógica, houve pouco ganho a partir da perspectiva do cliente. Em vez disso, o que tem-se é uma “melhoria pontual” no sistema de produção, mas foi completamente perdida, já que os estoques globais não foram reduzidos.

2.2.2 Cinco princípios *lean* essenciais e sete desperdícios clássicos

O conceito de pensamento *lean* descreve a filosofia de trabalho e as práticas dos fabricantes de veículos japoneses e, em particular, o Sistema Toyota de Produção (TPS). No TPS a utilização de um recurso que não é visto como um valor pelo cliente deve ser um candidato a eliminação (WOMACK e JONES, 1998). Em termos gerais, o pensamento *lean* é definido e descrito por cinco princípios essenciais (WOMACK e JONES, 1998):

- **Especificar valor:** definir o valor com precisão sob a perspectiva do cliente final, em termos de produto específico, com recursos específicos oferecidos em um momento específico;
- **Identificar fluxos de valor:** identificar todo o fluxo de valor para cada produto ou família de produto e eliminar o desperdício;
- **Fazer fluxo de valor:** faz o valor restante criando etapas de fluxo;
- **Deixar o cliente puxar o valor:** projeta e fornece o que o cliente quer apenas quando o cliente quer;
- **Buscar a perfeição:** faz um esforço para alcançar a perfeição através da remoção contínua de camadas sucessivas de desperdício na medida em que elas são expostas.

Um dos segredos do pensamento *lean* é a simplificação (PETTERSEN, 2009; KARIM e ZAMAN, 2013). Expandido para o contexto de todo o processo, ou fábrica, adquire a habilidade mais ampla para economizar recursos e, simultaneamente, espaço, materiais, energia, transporte e tempo. Considerando os princípios econômicos, Ohno (1988) descreve sete desperdícios clássicos no contexto de processos de manufatura. São eles:

superprodução, espera, transporte, processamento extra, inventário, movimentação e defeitos. A **Tabela 2** mostra uma lista e a descrição dessas perdas.

Tabela 2: Os sete desperdícios clássicos

Tipos de desperdício	Descrição
Superprodução	Produzir mais do que é necessário de uma só vez
Transporte	Transporte desnecessário ou mais longo do que o necessário de peças ou produtos
Movimentação	Movimentações desnecessárias ou mais longas do que as necessárias - de pessoas ou máquinas
Processamento extra	Usar o tempo ou outros recursos em etapas de processamento que não agregam valor ao produto
Espera	Pessoas à espera de peças de uma operação anterior
Estoque	O dinheiro está amarrado em um "trabalho em andamento"; os bens construídos não se tornam valor pois não são sendo puxados por um pedido específico de cliente
Defeitos	Os produtos que não atendem às especificações de qualidade precisam de tempo para reformulação e/ou descarte de peças defeituosas

Fonte: OHNO, 1988

A produtividade dos recursos e circuitos fechados presta melhores serviços, por períodos mais longos, com menos material, custo e complicação. A lógica do pensamento *lean*, com a ênfase na eliminação dos sete desperdícios clássicos, faz o valor definido pelo cliente fluir continuamente com o objetivo de produzir menos desperdício. Juntas, essas práticas oferecem a base para a poderosa e nova lógica de negócios. Em vez de simplesmente vender um produto ao cliente, produz-se o que é desejado, considerando a quantidade, ritmo e forma. Com base na análise de valor do cliente, *lean* apresenta um conjunto de ferramentas e técnicas para processos de melhoria contínuos e eliminação de desperdícios (ROTHER e SHOOK, 2003).

A essência do pensamento *lean* está no envolvimento das pessoas (BHASIN e BURCHER, 2006; POLLITT, 2006). *Kaizen* (palavra japonesa que significa melhoria contínua) oferece aos funcionários uma plataforma para que eles liberem a sua criatividade. O Dr. J. Edward Deming foi o pioneiro nesse campo, desenvolvendo, na década de 1960, o que foi chamado *Ciclo de Deming*, uma técnica simples e eficiente que serve como uma ferramenta prática para realizar a melhoria contínua no local de trabalho. Esta técnica, também chamada de Ciclo PDCA, fornece estrutura conceitual e prática, durante a realização de

atividades *Kaizen* pelos funcionários. Segundo Womack e Jones (1998), o alicerce fundamental do pensamento *lean* é *Kaizen* - uma filosofia orientada pelo processo com foco em melhorias graduais e padronização dos sistemas. A filosofia *Kaizen* tem dois objetivos principais (BERGER, 1997; SAURIN e FERREIRA, 2009):

- **Desenvolver uma cultura de solução de problemas:** com o foco na análise e solução de problemas aplicando pensamento científico e estruturado. A filosofia *lean* apresenta uma variedade de ferramentas e técnicas com o objetivo final de melhorar os processos e eliminar desperdícios. Desenvolver uma cultura de solução de problemas é fundamental para a implantação do pensamento *lean* (BERGER, 1997);
- **Envolvimento das pessoas:** *Kaizen* depende do esforço contínuo e do envolvimento das pessoas – está baseado no esforço constante para envolver e integrar as pessoas, desde operadores até os executivos. Para o pensamento *lean*, a chave para o sucesso está baseada na capacidade de formação e envolvimento de todos. Com base nessa ideia, sistemas de pessoas são considerados mais bem sucedidos do que os sistemas de software para manter os resultados. Isso cria um ambiente de aprendizagem, com a manutenção dos resultados em longo prazo e abertura para a criatividade e melhorias (BERGER, 1997).

Entender o papel do pensamento *Lean* é fundamental para a implantação do L&GBM e para o desenvolvimento deste trabalho. A ideia de melhorar o desempenho da função de operações olhando para ele usando lentes diferentes e usando o pensamento *lean* como quadro para essa implantação é o objetivo central desta pesquisa.

2.3 SUSTENTABILIDADE E COMPRESSION

A humanidade sempre dependeu dos serviços fornecidos pela biosfera e seus ecossistemas. Além disso, a biosfera é o produto da vida na Terra. A composição da atmosfera e do solo, o ciclo de elementos através do ar e cursos de água, e muitos outros ativos ecológicos são o resultado de processos vivos – e todos são mantidos e reabastecidos por ecossistemas vivos. A espécie humana, embora protegida contra imediatismos ambientais pela cultura e tecnologia, é em última análise, totalmente dependente do fluxo de serviços ecossistêmicos. Neste contexto, o conceito de sustentabilidade foi criado.

Sustentabilidade é um conceito sistêmico relativo à continuidade dos aspectos econômicos, sociais e ambientais da sociedade humana. No entanto, é parte de um campo mais amplo e em evolução da responsabilidade social e ambiental das empresas, o que nos tempos modernos, tem suas raízes na “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson (CARSON, 2010) e a análise dos “Limites do Crescimento” feita pelo Clube de Roma (MEADOWS et al., 1972). O termo foi usado pela primeira vez pela Comissão Brundtland, que cunhou o que se tornou a definição de desenvolvimento sustentável mais frequentemente citada como o desenvolvimento que *“satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”* (STERN, 2007; MAZUR e MILES, 2010).

O campo do desenvolvimento sustentável pode ser conceitualmente dividido em três partes básicas: sustentabilidade ambiental, sustentabilidade econômica e sustentabilidade sócio-política. A **Figura 8** mostra um esquema representativo dos vetores de desenvolvimento sustentável.

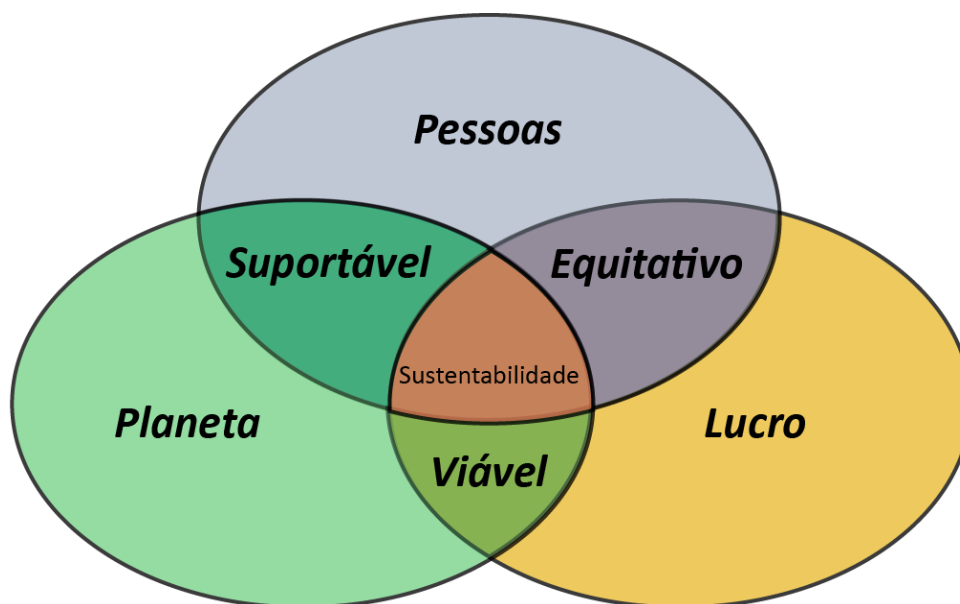


Figura 8: Vetores de desenvolvimento sustentável
Fonte: Adaptado de Zokaei et al., 2010

O desenvolvimento sustentável une a preocupação com a capacidade de suporte dos sistemas naturais com os desafios sociais enfrentados pela humanidade (ZOKAEI et al., 2010; SCHRETTLE et al., 2013; GUNASEKARAN e SPALANZANI, 2012). Por isso, inclui dois conceitos-chave: (1) o conceito de necessidades, em particular às necessidades essenciais dos pobres,

a quem deve ser dada prioridade, (2) a ideia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do ambiente para atender às necessidades atuais e futuras. Todas essas definições de desenvolvimento sustentável propõe compreender o mundo como um sistema – um sistema que conecta o espaço e o tempo. Portanto, o conceito de desenvolvimento sustentável tem suas raízes no pensamento sistêmico (LOVELOCK, 1990).

Sustentabilidade é um termo guarda-chuva amplo que aborda uma série de questões (HALL, 2010). Muitos escritores enfatizam apenas alguns aspectos da manutenção do planeta em condições de manter a vida, mas o escopo das preocupações é tão amplo que é difícil – ou impossível – pensar em todos eles ao mesmo tempo. Consequentemente, uma grande quantidade de iniciativas separadas estão relacionados a algum aspecto da sustentabilidade tais como reciclagem, uso de energias alternativas, permacultura, construção *green*, etc.

O Relatório *Lean & Green* (ZOKAEI et al., 2010) dá uma visão geral de algumas dessas estratégias ou práticas de gerenciamento ambiental propostas para buscar o desenvolvimento sustentável, tais como Ecologia Industrial (NIELSEN, 2007; TIBBS, 1992), Simbiose Industrial (BOONS et al., 2011), Eco eficiência (KORHONE, 2007), Tripé da Sustentabilidade (*Triple Bottom Line*) (LENZEN, 2008), Capitalismo Natural (ROBÈRT, 2002a; HAWKEN et al., 1999), *The Natural Step* (ROBÈRT, 2002b). Uma visão geral e a principal essência destas práticas são apresentadas na **Tabela 3**.

Tabela 3: Visão geral das estratégias essenciais para alcançar a sustentabilidade

Prática	Conceito	Princípios essenciais
1 – Ecologia Industrial	Ecologia Industrial (EI) é uma estrutura para pensar e organizar sistemas humanos econômicos e sociais em formas que se assemelham a ecossistemas naturais. Ela estuda os fluxos de materiais e energia em atividades industriais e de consumo para investigar seus efeitos sobre o meio ambiente, e como os fatores econômicos, políticos, sociais e regulatórios causam impacto sobre o fluxo, uso e transformação de recursos. A singularidade da EI é que ela pretende mostrar como as preocupações ambientais podem ser integradas em atividades econômicas. No nível de aplicação, a EI oferece ferramentas para análise da interface entre a indústria e o meio ambiente, e fornece uma base para a gestão de impactos ambientais (NIELSEN, 2007; TIBBS, 1992, EHRENFELD, 1981 apud ZOKAEI et al., 2010; GRAEDEL e ALLENBY, 2003 apud ZOKAEI et al., 2010; DESPEISSE et al., 2012)	(1) Mostra como as preocupações ambientais podem ser integradas em atividades econômicas; (2) Dá uma base para a gestão de impactos ambientais.
2- Eco Eficiência	Baseia-se na criação de mais usando menos recursos e criar menos desperdício e poluição. Os sete fatores críticos para a Eco Eficiência são: redução da intensidade material de bens e serviços, redução da intensidade energética, a redução da dispersão tóxica, melhora na reciclagem de material, maximização do uso sustentável dos recursos, redução da resistência de material na natureza e aumento da intensidade do serviço dos produtos (KORHONE, 2007; SCHMIDHEINY, 1992)	(1) Concentra-se em criar mais usando menos recursos; (2) Cria menos desperdício e poluição.
3- Tripé da sustentabilidade - (TBL)	A agenda Tripé da sustentabilidade tem como objetivo integrar em estratégia corporativa e governança corporativa o foco não apenas no valor econômico que eles acrescentam, mas também sobre o valor ambiental e social que eles acrescentam – ou destroem. Apoiado pelas Nações Unidas, a TLB tornou-se uma abordagem disseminada na contabilidade de custo total do setor público (LENZEN, 2008; ELKINGTON, 1998).	(1) Tem o objetivo de integrar em estratégia corporativa o foco no valor ambiental e social.

(Continua)

(Continuação)

Prática	Conceito	Princípios essenciais
4- Capitalismo Natural	<p>Capitalismo Natural retrata um sistema industrial novo baseado em uma mentalidade e valores muito diferentes do capitalismo convencional. O capital natural refere-se aos recursos naturais e os serviços dos ecossistemas que possibilitam as atividades econômicas. O Capitalismo Natural está baseado em quatro estratégias (HAWKEN et al., 1999):</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Produtividade radical de recurso: a obtenção do mesmo valor de utilidade de um produto ou processo, utilizando menos materiais e energia, a fim de retardar o esgotamento de recursos e a poluição, ao mesmo tempo. A eficiência de recurso ampliada de maneira radical - pelo menos em teoria - reduz custos para empresas e sociedade. b. Bio-mimetismo: a reprodução dos processos e produtos naturais através do design inspirado na natureza (assim como eco eficácia). Isto muda a natureza dos produtos e processos industriais, o que permite a reutilização constante de materiais em ciclos contínuos fechados, o uso de produtos biodegradáveis e eliminação da toxicidade. c. Economia de Serviço e Fluxo: Esta estratégia exige uma mudança fundamental na relação produtor-consumidor, substituindo bens físicos com serviços sempre que possível. Os prestadores de serviços tornam-se responsáveis pelo produto após o uso e tornar os produtos duráveis, gerando menos desperdício, é em benefício dos fornecedores. d. Investimento no capital natural: a reversão da destruição global do planeta através de reinvestimentos na manutenção, restauração e expansão estoques de capital natural, de modo que a ecossfera possa produzir mais serviços ecossistêmicos e recursos naturais. 	<p>(1) Baseado em quatro estratégias: (a) produtividade radical de recurso, (b) Bio-mimetismo, (c) Economia de Serviço e Fluxo (d) Investimento no Capital Natural;</p> <p>(2) Retrata um novo sistema industrial baseado em uma mentalidade e valores muito diferentes do capitalismo convencional.</p>
5- Simbiose Industrial	<p>A Simbiose Industrial (SI) exige atenção constante para o fluxo de materiais e energia através de economias locais e regionais. SI envolve indústrias tradicionalmente separadas em uma abordagem coletiva para a vantagem competitiva que envolve troca física de materiais, energia, água e/ou subprodutos. Os aspectos fundamentais para a SI são a colaboração e as possibilidades de sinergia oferecidas pela proximidade geográfica (BOONS et al., 2011; CHERTOW, 2000).</p>	<p>(1) Exige atenção constante para o fluxo de materiais e energia através de economias locais e regionais.</p> <p>(2) Concentra-se nas possibilidades de sinergia oferecidas pela proximidade geográfica.</p>

(Continua)

(Continuação)

Prática	Conceito	Princípios essenciais
6- Eco eficácia	<p>A Eco eficácia é baseada em uma estratégia de design berço a berço ou circuito fechado que reflete os sistemas naturais. Estes não são necessariamente eficientes individualmente, mas são eficazes uma vez que não há nenhum desperdício no sistema natural como um todo. Os princípios da eco eficácia são: desperdício é equivalente a alimentação (criando um sistema industrial em circuito fechado), uso da energia solar que incide sobre o planeta e celebração da diversidade.</p> <p>Eco eficácia exige transformação da indústria humana através do design ecologicamente inteligente. Destina-se a projetar sistemas industriais que imitam a natureza, onde o desperdício de um subsistema é alimento para outro. Defensores da Eco eficácia criticam a abordagem eco eficiência menos radical porque, em primeiro lugar, ela funciona com o mesmo sistema que causou o problema e na maioria das vezes apenas reduz o ritmo de dano (ZOKAEI et al., 2010).</p>	<p>(1) Eco eficácia é baseada em um design berço a berço ou circuito fechado;</p> <p>(2) Propõe uma estratégia que reflita os sistemas naturais.</p>
7- <i>The Natural Step</i>	<p>A definição da estrutura <i>The Natural Step</i> (TNS) de sustentabilidade inclui quatro condições do sistema (princípios científicos) necessários para um mundo sustentável. Os três primeiros envolvem evitar concentrações crescentes de substâncias extraídas da crosta terrestre, concentrações de substâncias produzidas pela sociedade e degradação através de meios físicos. O quarto princípio defende uma maior equidade social, para permitir que as necessidades humanas sejam satisfeitas em todo o mundo. O trabalho sobre a estrutura TNS foi iniciado pelo Professor Robèrt, na década de 1980, e recebeu grande atenção da indústria e dos responsáveis pela elaboração de políticas, durante o final dos anos 1990 e 2000. TNS olha para o desenvolvimento sustentável em três níveis (ROBÈRT, 2002b):</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Princípios da ecosfera regidos pelas leis naturais da física; b. Princípios da sustentabilidade (as quatro condições do sistema); c. Princípios para um processo para atender os princípios para sustentabilidade (a transição para a sustentabilidade e, em seguida, o desenvolvimento seguro). 	<p>(1) Estrutura baseada em três vetores (a) princípios de ecosfera regidos pelas leis naturais da física, (b) princípios da sustentabilidade (c) princípios para um processo para atender os princípios para sustentabilidade.</p>

(Continua)

(Conclusão)

Prática	Conceito	Princípios essenciais
8- A regra da Biosfera	<p>Em poucas palavras, depois de 20 anos de trabalho na indústria, Unruh (2008) observou que o mantra para gestão de materiais ambientalmente responsáveis – Reduzir, reutilizar, reciclar – não é tão <i>lean</i> quanto parece. A manufatura usa muitos componentes e materiais básicos para ser eficiente. Unruh (2008) propõe que as empresas devem imitar a lógica “<i>lean</i>” que a natureza utiliza para montar a estrutura de vida e ecossistemas (que ele chama de bio-lógica). Na natureza, apenas alguns poucos elementos são usados para criar vida (C, N, O, H), por esse motivo, quando a vida acaba, resíduos são prontamente reciclados sem lixo “tóxico”. Pelo contrário, a Indústria-lógica de manufatura humana que pressupõe que, em grande parte, os materiais sintéticos devem ser montados ou moldados nas formas desejadas (UNRUH, 2008). Unruh sugere três regras da biosfera importantes a serem adaptadas por empresas visando tanto ganho ambiental como econômico:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Use uma paleta de materiais limitada; b. Reaproveite – prepare o produto para ser facilmente reciclado em um novo produto; c. Explore o poder de plataformas ou sistemas comuns de produção. 	(1) Sugere três regras da biosfera importantes a serem adaptadas por empresas, tanto para ganho ambiental como econômico.

Fonte: Adaptado de ZOKAEI et al. (2010), relatório *Lean & Verde*

O que vem depois da sustentabilidade? Pensamento *Compression* (HALL, 2010) pode responder esta pergunta. Com uma declaração que estabelece “*assegure a sobrevivência da vida e promova a qualidade de vida através de processos que funcionem a perfeição com sistemas de autoaprendizagem e autocorreção. Não utilize excesso de recursos. Sem energia desperdiçada. Sem emissões tóxicas. Qualidade sobre a quantidade, sempre.*” Pensamento *Compression* é baseado no fato de que a sociedade está perto de um momento crucial: o fim da expansão. A população está se expandindo em uma terra com recursos finitos. O pensamento antigo da revolução industrial e o pensamento financeiro precisam ser mudados. Assim, o caso de *compression* é baseado em quatro vetores principais (1) recursos finitos, (2) ambiente precário, (3), consumo excessivo (4) *pushback*, como mostra a **Figura 9**.

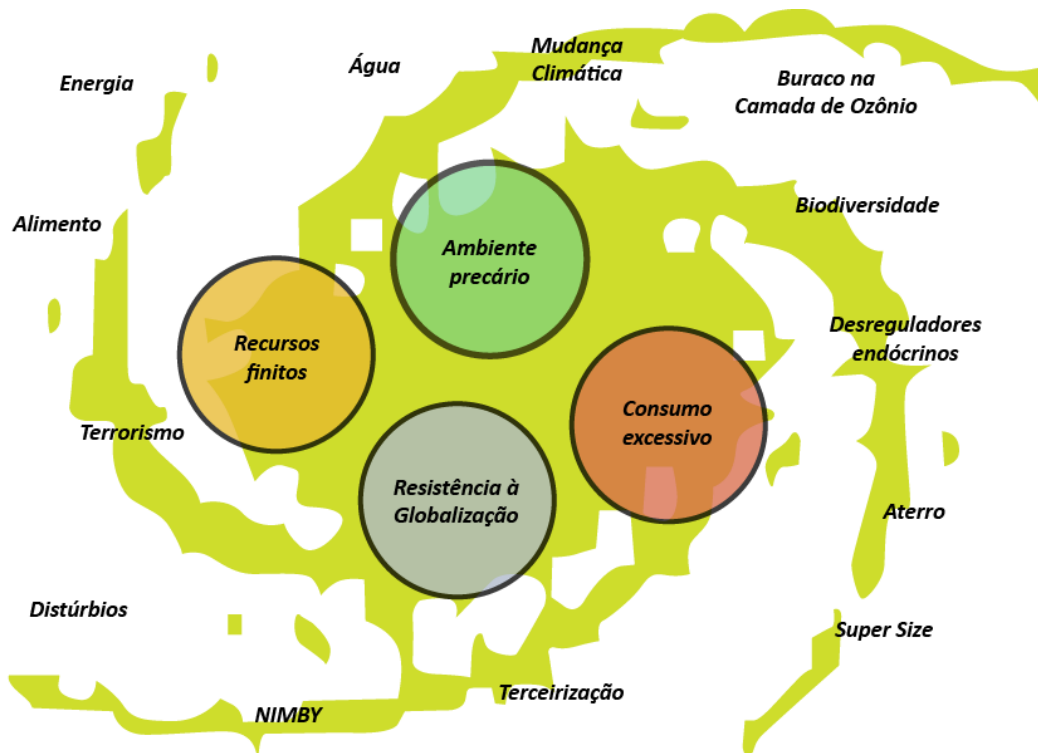


Figura 9: O caso para *compression*, reproduzido aqui com a permissão de ©Robert Hall
Fonte: HALL (2010)

Segundo Hall (2010), o pensamento *lean* ultrapassa um pouco isso, uma vez que seus praticantes estão acostumados a remover desperdícios de processos, nem sempre representados por custos. Mas o pensamento *compression* tem que dar um passo além. As ações físicas e as suas consequências devem ter prioridade sobre as motivações financeiras. Fundamentos conceituais que fazem parte do pensamento *compression* são bem conhecidos, mas a prática é lenta em assumir o controle. Primeiro, elimine o desperdício, coisas que não acrescentam valor para ninguém. Em seguida conserve (reutilize, restaure, refabrique, recicle e assim por diante) e controle (materiais perigosos). Muitas pessoas querem diminuir o seu uso de recursos, mas até que organizações que trabalham com isso criem sistemas práticos que possam usar, o seu efeito é mínimo. Portanto, o *compression* foca fundamentalmente em novo pensamento econômico, olhando as transações financeiras para ver a realidade física do que a sociedade e as empresas fazem. Além disso, o *compression* não é ambiental puro. As preocupações ambientais são apenas um motivo para fazer mudanças sistêmicas. Ele exige uma mentalidade diferente, uma abordagem integrada em outro contrato com a crescente complexidade do trabalho de hoje.

A **Figura 10** mostra como os três vetores apresentados pelo conceito de sustentabilidade são vistos, com base no pensamento *compression*.

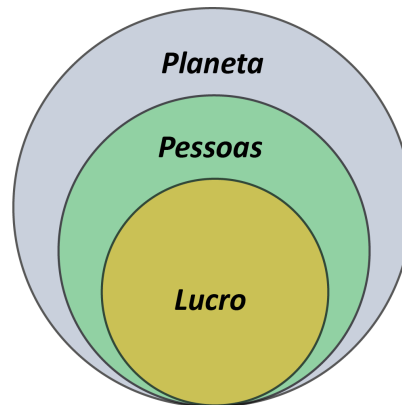


Figura 10: Os três vetores apresentados pelo conceito de sustentabilidade com base no pensamento *compression*
Fonte: HALL (2011)

Seguindo isso, o pensamento *compression* propõe uma nova maneira de ver as questões ambientais. Diferentemente do conceito de sustentabilidade, ele afirma que isso deve fazer parte do sistema maior, integrado no modelo de negócio. Embora o *compression* tenha um escopo muito mais amplo, entende-se que o pensamento *lean* pode ser uma maneira de entrar em *compression*.

Compreender os papéis dos conceitos de sustentabilidade e *compression* é fundamental para a implantação do L&GBM e para o desenvolvimento deste trabalho.

2.4 PENSAMENTO GREEN

A ideia geral por trás do conceito de pensamento *green* é o entendimento da natureza como algo limitado. Lozano (2008), em seu artigo “*Envisioning sustainability three-dimensionally*”, revê o conceito de sustentabilidade ambiental estabelecida por diversos autores e afirma que o pensamento *green* pode ser referido como “*o uso dos recursos naturais sem ultrapassar a capacidade de produção deste no ambiente natural bem como a produção de poluentes sem ultrapassa os limites de biodegradação deste no sistema natural que os recebe*”.

Portanto, o objetivo geral do pensamento *green* pode ser descrito em uma dimensão (Meio Ambiente), com dois focos principais (MOREIRA et al., 2010): (1) produzir com a máxima produtividade no uso dos recursos naturais e com (2) o mínimo impacto ambiental. A empresa *green* atua (ou diz atuar) de uma forma que minimiza os danos ao meio ambiente. Para este fim, uma empresa *green* pode aplicar diferentes tipos de práticas ambientais. O Relatório *Lean*

& *Green* (ZOKAEI et al., 2010) e os estudos de Glavic e Lukman (2007) e Lozano (2012) fornecem uma visão geral de várias dessas práticas.

Três exemplos importantes de práticas ambientais bem conhecidas (também conhecidas como práticas *green*) incluem: (i) produção mais limpa, (ii) a eco eficiência e (iii) a análise do ciclo de vida (ACV). Para Cagno et al. (2005) e Kiperstok (2008), produção mais limpa é uma iniciativa preventiva de proteção ambiental específica da empresa. Destina-se a minimizar o desperdício e as emissões e maximizar o resultado produtivo. Ao analisar o fluxo de materiais e energia em uma empresa, estratégias de redução da fonte podem ser desenvolvidas para minimizar o desperdício e emissões em processos industriais. As melhorias na organização e tecnologia podem ajudar a reduzir o uso de recursos ou podem sugerir as melhores escolhas no uso de materiais e energia. Essas ações podem levar a prevenção de desperdício, incluindo a geração de águas residuais, emissões gasosas, calor e ruído. De acordo com Korhone (2007), a eco eficiência concentra-se em aumentar a produção, enquanto utiliza menos recursos, o que, assim, resulta em menos desperdício e poluição. Sete fatores críticos são considerados na eco eficiência, incluindo uma redução na intensidade material de bens e serviços, a redução da intensidade energética, uma redução na dispersão tóxica, uma melhoria da capacidade de reciclagem de material, a máxima utilização sustentável dos recursos, uma redução na resistência de material na natureza e um aumento da intensidade de utilização de produtos. Finalmente, Haes (1993) observa que ACV simula a complexa interação entre um produto e o ambiente de berço a berço, fornecendo dados aprofundados sobre os impactos ambientais. A ACV pode ser útil para empresas de manufatura, porque pode mostrar quais atividades, processos e materiais levam a particularmente grandes impactos ambientais, o que pode, por sua vez, servir como objetos para melhorias.

Foram propostos vários mecanismos pelos quais as empresas podem avaliar, monitorar e registrar os impactos ambientais de seus produtos, processos e outras atividades e verificar que os planos para reduzir os impactos serão eficazes. Em termos gerais, as práticas do pensamento *green* podem ser generalizadas por quatro princípios fundamentais comuns:

- Identificar aspectos e impactos ambientais;
- Medir o impacto ambiental e o uso dos recursos naturais;
- Identificar alternativas para (1) a redução do impacto e (2) a produtividade dos recursos;
- Melhoria contínua.

Nas últimas décadas, muitas práticas *green* diferentes foram criadas propondo a coexistência da indústria, do negócio, das pessoas, do ambiente natural e suas interações, como o Eco Design e Design para o Meio Ambiente (DIEHL e BREZET, 2004), Análise do ciclo de vida, (HAES, 1993), Produção Mais Limpa (CAGNO et al., 2005; KIPERSTOK, 2008), Sistemas de Gestão Ambiental (RONDINELLI e VASTAG, 2000), Avaliação de Desempenho Ambiental (JASCH, 2000). Uma visão geral e a essência principal de cinco dessas práticas ambientais sustentáveis são apresentadas a seguir na **Tabela 4**.

Tabela 4: Visão geral das estratégias principais para alcançar a sustentabilidade

Prática	Conceito	Princípios essenciais
1 – Eco Design & Design para o Meio Ambiente (DFE)	Baseia-se no princípio de projetar objetos físicos e serviços em conformidade com os princípios da sustentabilidade econômica, social e ecológica em todas as etapas do desenvolvimento do produto ou do serviço com o objetivo final de reduzir o impacto ambiental em todo o ciclo de vida do produto ou serviço. Embora a aplicação prática varie entre as disciplinas, os sete princípios mais comuns aplicados ao eco design são os seguintes (DIEHL e BREZET, 2004): a desmaterialização do produto; otimização funcional do produto; redução do número de peças e materiais, otimização da produção e transporte; seleção e design de materiais; redução do impacto do uso do produto, aumento do ciclo de vida do produto.	(1) Design ambiental com foco – Redução do número de peças e materiais; (2) Seleção de materiais de baixo impacto; (3) Redução do impacto do uso – Aumento do ciclo de vida do produto.
2 – Análise do ciclo de vida (ACV)	ACV simula a complexa interação entre um produto e o ambiente de berço a berço. A Análise do ciclo de vida pode ser um processo caro e demorado, porém fornece dados aprofundados sobre os impactos ambientais. Uma ACV pode ser útil para empresas de manufatura, porque pode mostrar quais atividades, processos, materiais estão criando particularmente grandes impactos ambientais, de maneira que estes possam ser direcionados para melhorias. O processo tem duas etapas principais: a etapa de estoque, onde o ciclo de vida do produto ou serviço é descrito e o uso de matéria-prima e as emissões em cada etapa são registrados, e a fase de avaliação de impacto, onde os dados são acessados para entender qual impacto e de que tipo está associado às emissões e a utilização de material (HAES, 1993; MORAES et al., 2010).	(1) Estoque de massa e energia; (2) Avaliação de impacto;

(Continua)

(Continuação)

Prática	Conceito	Princípios essenciais
3 – Produção mais limpa	<p>Produção mais limpa é uma iniciativa preventiva de proteção ambiental específica da empresa. Destina-se a minimizar o desperdício e as emissões e maximizar o resultado produtivo. Ao analisar o fluxo de materiais e energia em uma empresa, tenta-se identificar opções para minimizar o desperdício e as emissões de processos industriais através de estratégias de redução da fonte. As melhorias na organização e tecnologia ajudam a reduzir ou sugerir as melhores escolhas no uso de materiais e energia, e a evitar o desperdício, a geração de águas residuais e emissões gasosas, e também o calor e ruído. Exemplos de opções de produção mais limpa são apresentados a seguir (CAGNO et al., 2005): Documentação do consumo (como uma análise básica de fluxos de materiais e energia); uso de indicadores e controle (para identificar as perdas de um planejamento ruim, baixa escolaridade e formação, erros); substituição de matérias-primas e materiais auxiliares (especialmente materiais renováveis e energia); Aumento da vida útil dos materiais auxiliares e líquidos de processo (evitando contaminação); Melhor controle e automação; Reutilização de resíduos (interno ou externo); pequenos processamentos de resíduos e tecnologias.</p>	<p>(1) Coleta de Dados de Processos; (2) Definição métricas - Principais indicadores de desempenho; (3) Prevenção da Poluição; (4) Foco nos 3 Rs: Reduzir, Reutilizar, Reciclar</p>
4 – Sistemas de Gerenciamento Ambiental (SGA)	<p>Um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA) é uma estrutura adequada para o gerenciamento de um significativo impacto ambiental de uma organização. O padrão para o SGA é a ISO 14001, que é baseado no ciclo de Deming de planejar, fazer, verificar e agir. As empresas são obrigadas a avaliar seus principais impactos ambientais e, em seguida, planejar sua redução. Elementos do SGA incluem o envolvimento da força de trabalho e melhoria contínua e também medição, registro e inspeção dos impactos e os esforços para reduzi-los. A ISO 14000, diretrizes para sistemas de gestão ambiental da Organização Internacional para Padronização, tornou-se referência internacional pelo qual as empresas podem, voluntariamente, desenvolver e avaliar suas práticas ambientais (RONDINELLI e VASTAG, 2000; NAWROCKA et al., 2009; GAVRONSKI et al., 2013) . Ela oferece um formato para o desenvolvimento de uma política ambiental, identificando os aspectos ambientais, definindo objetivos e metas, implementando um programa para atingir os objetivos da empresa, monitorando e medindo a eficácia, corrigindo deficiências e problemas, e revisando de sistemas de gestão para promover a melhoria contínua. Os principais objetivos desta norma são apoiar organizações para minimizar o efeito negativo de ambiente de operações (que causam mudanças adversas no ar, na água ou na terra) e cumprir as leis e regulamentos aplicáveis (ISO14001:2004).</p>	<p>(1) Prevenção da Poluição; (2) Cumprimento de requisitos legais; (3) Melhoria Contínua.</p>

(Continua)

(Conclusão)

Prática	Conceito	Princípios essenciais
5 – Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA)	A Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) é uma técnica de gestão que permite a avaliação do desempenho ambiental de uma empresa por meio de critérios e requisitos auto definidos. A consequente avaliação de dados fornece informações substanciais para o Sistema de Gerenciamento Ambiental (AVA), permitindo o desenvolvimento e acompanhamento de metas de aplicação específica e mensuráveis, objetivos e estratégias. A ADA é uma técnica altamente adaptável, que permite a criação de modelos personalizados. Este conceito foi descrito na norma ISO 14031:2000 (JASCH, 2000).	(1) Define Métricas - indicadores chave de desempenho; (2) Coleta de Dados; (3) Melhoria Contínua.

Fonte: Adaptado de ZOKAEI et al. (2010), Relatório *Lean & Green*

Compreender o papel do pensamento *green* é fundamental para a implantação do L&GBM e para o desenvolvimento deste trabalho.

2.5 REVISÃO DE LITERATURA DE BLOCOS DE CONSTRUÇÃO BÁSICOS

Como discutido anteriormente, o pensamento dos sistemas está relacionado ao entendimento de um sistema através de análise das ligações e das interações entre os elementos que compõem o conjunto do sistema.

Considerando-se a literatura de ponta, a base para esta pesquisa está enraizada em quatro pilares principais: o entendimento sobre **gestão de operações**, os princípios essenciais que fazem a manufatura se comportar do jeito que está se comportando, o **pensamento lean**, e por que ele mudou as formas de trabalho, a **sustentabilidade** e o **pensamento green**, como ele está integrado com ao mundo da manufatura. Abrindo um pouco mais essas correntes de pensamento, a Tabela 5 apresenta os blocos de construção fundamentais da literatura de que estão sendo estudados. O cruzamento entre estas três correntes principais do conhecimento, apresentado na **Tabela 5**, será analisado no Capítulo 3 e irá proporcionar a base para o desenvolvimento do L&GBM.

Tabela 5: Literatura de ponta de blocos de construção básicos

	Gestão de Operações	Pensamento <i>Lean</i>	Sustentabilidade	<i>Compression</i>	Pensamento <i>Green</i>
O que é?	Função dentro da organização responsável pelo fluxo de material de uma fábrica e pelo desenvolvimento de tudo o que é preciso para colocar o produto no mercado.	Um modelo de “como administrar” uma organização de manufatura eficiente e eficaz.	Conceito sistêmico relacionado à continuidade dos aspectos econômicos, sociais e ambientais da sociedade humana.	O conceito baseia-se no fato de que a sociedade está próxima de um momento decisivo, com recursos finitos. O velho pensamento da revolução industrial e o pensamento financeiro precisam ser mudados.	Série de mecanismos ou práticas criadas para um melhor uso dos recursos naturais para redução do impacto ambiental.
Objetivo	Apoiar, implementar e conduzir a estratégia de negócios.	“Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício.” (BICHENO, 2000)	“Satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras suprirem as suas próprias necessidades.” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1987)	“Garantir a sobrevivência da vida e promover a qualidade de vida através de processos que funcionam a perfeição, com sistemas de autoaprendizagem e autocorreção. Não utilização de recursos excedentes. Sem energia desperdiçada. Não há emissões tóxicas. Qualidade sobre a quantidade, sempre.” (HALL, 2010)	“O uso dos recursos naturais sem ultrapassar a capacidade de produção deste no ambiente natural bem como a produção de poluentes sem ultrapassa os limites de biodegradação deste no sistema natural que os recebe.” (LOZANO, 2008)
Dimensões	(1) Qualidade (2) Entrega (3) Custo	(1) Segurança (2) Qualidade (3) Entrega (4) Custo	(1) Social (2) Econômica (3) Ambiental	(1) Social (2) Econômica (3) Ambiental (4) Qualidade	(1) Ambiental
Princípios essenciais	NA	1. Valor específico 2. Identificar fluxos de valor 3. Fazer fluxo de valor 4. Deixar o cliente puxar o valor 5. Buscar a perfeição	NA	NA	1. Identificar aspectos e impactos ambientais 2. Medir impactos ambientais e o uso de recursos naturais 3. Identificar alternativas para (a) a redução do impacto e (b) a produtividade de recursos 4. Melhoria contínua
Exemplos de ferramentas de trabalho	Six sigma Ferramentas de engenharia industrial	Ferramentas do pensamento <i>lean</i> Kaizen Solução de problemas Envolvimento das pessoas	Ecologia Industrial Simbiose Industrial Eco eficiência Eco eficácia Tripé de sustentabilidade Capitalismo Natural <i>The Natural Step</i> Regra da Biosfera	Equilíbrio massa & energia Ferramentas do pensamento <i>lean</i> (Kaizen, Solução de problemas, Envolvimento das pessoas)	Eco Design Design para o Meio Ambiente (DMA) Análise de ciclo de vida (ACV) Produção mais limpa Sistemas de Gerenciamento Ambiental (SGA) Avaliação de desempenho ambiental (ADA)

NA = Não aplicável

CAPÍTULO 3: ANÁLISE DA LITERATURA

O Capítulo 2 explorou as principais características, dimensões e blocos de construção básicos dos principais corpos de literatura que compõem este estudo. O objetivo do capítulo 3 é analisar as lacunas e as interações entre os blocos individuais de literatura que compõem este trabalho para estabelecer a base para o L&GBM. A **Figura 11** mostra uma representação esquemática do que vai ser feito neste capítulo.

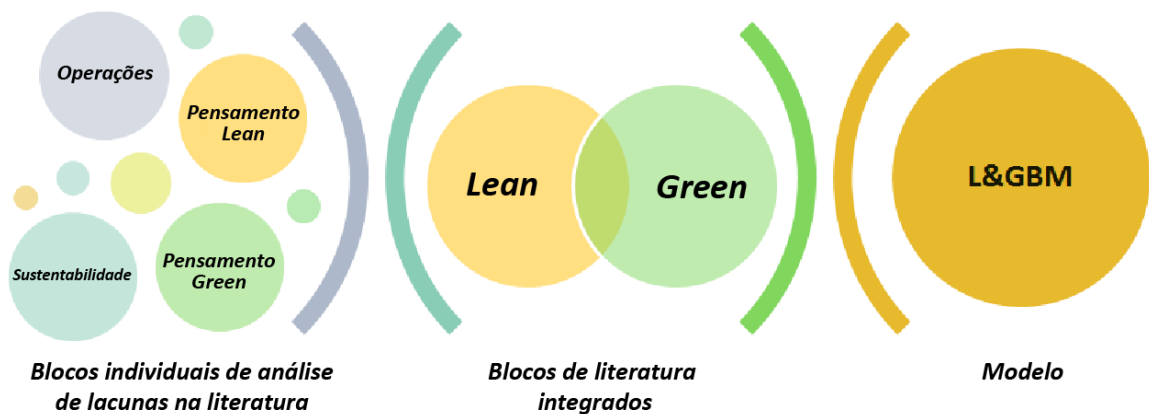


Figura 11: Representação esquemática da análise da literatura
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A **Tabela 6** mostra a estrutura da análise da literatura que será desenvolvida e a hipótese que será explorada.

Tabela 6: Estrutura da análise da literatura

Estrutura da análise	Hipótese a ser testada:
Análise <i>lean & green</i> sob uma perspectiva de operações	(1) Práticas <i>lean</i> exigem um maior nível de integração com a manufatura do que práticas <i>green</i> . (2) Práticas <i>green</i> devem considerar um maior nível de integração com os meios de produção, a fim de alcançar melhores resultados.
Análise <i>lean & green</i> sob uma perspectiva de sustentabilidade	(3) A maioria das práticas de sustentabilidade / <i>green</i> não contribui por completo com as três dimensões principais da sustentabilidade. (4) Pensamento <i>lean</i> puro contribui para duas dimensões de sustentabilidade: (i) lucro e (ii) pessoas.
Análise <i>green</i> sob uma perspectiva <i>lean</i>	(5) Embora possam apoiar a melhoria de negócios e estratégia (como a redução de custos), as práticas ambientais são muitas vezes definidas como iniciativas exclusivas de proteção ambiental. (6) Há vários exemplos que atestam a sinergia entre práticas <i>lean & green</i> , mas poucos propõe uma maneira diferente de pensar.
Análise <i>lean</i> sob uma perspectiva <i>green</i>	(7) A utilização <i>lean</i> pura promove a melhoria do meio ambiente, mesmo que não haja nenhuma intenção direta para reduzir o impacto ambiental. (8) Uma nova maneira de pensar pode ser criada através da integração do pensamento <i>lean</i> puro a uma nova dimensão – (iii) o planeta.

O capítulo 3 pretende responder as seguintes perguntas:

- Quais são as diferenças entre uma manufatura *green* e uma *lean*? Como o pensamento *green* pode ser aplicado à gestão de operações?
- Como as práticas de sustentabilidade apoiam as dimensões de sustentabilidade? Como o pensamento *lean* apoia as dimensões de sustentabilidade?
- Quais são os fundamentos do pensamento *lean* já explorados pelos praticantes ambientais?
- Pensamento *lean* puro promove melhoria ambiental?
- O que já foi dito sobre *lean & green* – é uma forma de pensamento nova e sólida?
- O que deveria fazer parte do modelo integrado *lean & green* para transformá-lo em uma maneira de pensar?

A fim de criar a base para o L&GBM, este capítulo é concluído apresentando uma breve discussão sobre os principais dados da análise da literatura, articulando sobre como as práticas *lean*, de sustentabilidade, de *compression*, *green* podem ser integradas em um ambiente de produção.

3.1 ANÁLISE LEAN & GREEN SOB UMA PERSPECTIVA DE OPERAÇÕES

Segundo Hopp e Spearman (2008), gestão de operações é uma função dentro da organização responsável pelo fluxo de material através de uma fábrica e pela colocação de produtos no mercado. Portanto, o papel da gestão de operações é estratégico. Projetar a forma como a manufatura será desenvolvida é uma tarefa crucial neste processo.

A manufatura pode ser concebida numa variedade de formas e abordagens diferentes. Este estudo está interessado em compreender as diferenças e as características de uma produção *lean* & produção *green*.

A primeira coisa que é importante salientar é que ter uma abordagem de manufatura *lean* ou *green* é uma decisão estratégica da organização, uma vez que esta decisão irá conduzir os comportamentos e processos de toda a organização. Ambas as manufaturas *lean* e *green* estão preocupadas com a forma que o desperdício é tratado. Mas, neste caso, o conceito de desperdício possui significados diferentes.

A manufatura *lean* entende desperdício como algo que não agrega valor para o cliente (BICHENO, 2000). Os desperdícios neste caso são superprodução, espera, transporte, processamento extra, estoque, movimentação e defeitos. Uma empresa de manufatura *lean* é aquela que considera desperdício o uso de recursos para qualquer outro objetivo que não a criação de valor para o cliente final, o qual, assim, se torna um alvo para a eliminação (WOMACK e JONES, 1998). Para reduzir desperdícios *lean* é importante compreender a forma que a fabricação ocorre e suas formas de trabalho. Para conseguir isso, uma empresa *lean* deve não só utilizar os cinco princípios *lean*, mas também integrar ferramentas que auxiliam na melhoria da qualidade e na identificação e eliminação de desperdício. Exemplos de tais "ferramentas" são Mapeamento de Fluxo de Valor, 5S, *Kanban* e *poka-yoke* (BICHENO, 2000). À medida que o desperdício é eliminado e a qualidade melhora, o tempo e os custos de produção são reduzidos. Essencialmente, manufatura *lean* é centrada em preservar o valor com menos trabalho.

Por outro lado, a manufatura *green* concentra-se no meio ambiente e entende desperdício como a extração e uso de recursos naturais em valores ou em formas além do que a natureza pode absorver (LOZANO, 2008b). Em outras palavras, resíduo ambiental é o uso desnecessário ou excessivo de recursos ou substâncias liberadas no ar, na água ou na terra que podem prejudicar a saúde humana ou o meio ambiente (EPA, 2006). Resíduos ambientais,

neste caso, são baseados no fluxo de massa e de energia dos processos de manufatura, tudo o que entra e sai do sistema. Resíduo ambiental pode ocorrer quando uma empresa utiliza os recursos para fornecer produtos ou serviços para clientes e/ou quando os clientes usam e descartam produtos (EPA, 2006). Para reduzir de resíduos ambientais é importante entender em detalhes os fluxos de massa e energia dos processos de fabricação, o que é utilizado, quanto, de onde vem, o que é gerado após a produção e como as sobras da produção serão tratadas. A empresa de manufatura *green* atua (ou diz atuar) de uma maneira que minimiza o impacto ao meio ambiente. Para este fim, uma empresa *green* pode utilizar diferentes tipos de práticas ambientais. O objetivo geral de tais práticas ambientais é o de (i) melhorar a produtividade no uso de recursos naturais, como energia e materiais, e (ii) reduzir o impacto ambiental (MOREIRA et al., 2010).

Embora ambas as manufaturas *lean* e *green* sejam formas estratégicas para para melhorar a produção, elas têm características distintas. A diferença aqui não é apenas o conceito de desperdício já explorado, mas o foco e o nível de integração que ambas precisam ter com os processos de manufatura antes de eles serem implementados. Se alguém tem a intenção de ser *lean* e aplicar ferramentas de trabalho *lean* é necessário um profundo conhecimento e integração com todos os processos de manufatura. No entanto, a melhoria ambiental pode ocorrer enfocando os fluxos de massa e energia de manufatura e sem um entendimento profundo dos processos e procedimentos de fabricação. Portanto, manufatura *lean* toca o coração dos processos de fabricação, embora manufatura *green* possa existir sem esse nível de integração.

Esta situação evidencia uma característica importante que impulsiona comportamentos distintos na implementação de ferramentas *lean* e ferramentas *green*. Enquanto a aplicação de uma ferramenta de manufatura *lean* para reduzir o desperdício e melhorar o fluxo de produção requer mudanças profundas nas formas de trabalho da manufatura (máquinas, processos, pessoas, materiais), a implantação de uma ferramenta ambiental, para reduzir os resíduos ambientais, pode acontecer com o foco apenas na melhoria dos fluxos de massa e energia, deixando, por vezes, fora deste processo, não só as formas de trabalho da manufatura, mas também máquinas, processos, pessoas. Portanto, uma vez que não apresenta uma abordagem sistemática para lidar com todas as variáveis de produção, em muitas situações melhorias de manufatura *green* são considerados algo que “é bom ter”, desde que a “manufatura real” seja feita.

Esta ideia pode parcialmente responder uma pergunta feita por Kiperstok (2000) ao analisar uma prática *green* bem conhecida, a produção mais limpa. No artigo, o autor começa fazendo a seguinte pergunta: “*Se a prática da produção mais limpa é tão óbvia para o senso comum, por que ela não ocorre naturalmente na indústria?*” Falta de integração pode ser a resposta aqui. Jabbour et al. (2012) desenvolveram um estudo sobre a implantação do SGA no Brasil. Segundo os autores, a gestão ambiental pode ser considerada uma nova prioridade de produção competitiva em empresas localizadas no Brasil, capazes de influenciar as dimensões de manufatura de custo, qualidade, flexibilidade e entrega. O estudo de 63 empresas sugere que o pensamento *green* precisa ser integrado a outras áreas funcionais, a fim de ter sucesso e dar uma vantagem competitiva.

O sucesso do pensamento *lean* na resolução de problemas de manufatura, na integração com as variáveis de produção e na compreensão das características de fabricação (SAURIN e FERREIRA, 2009; YANG et al., 2011) mostra uma característica importante a ser levada em consideração, a fim de que as práticas *green* tenham sucesso em termos de serem aceitas e consideradas como parte do mundo da manufatura: para ter sucesso na produção, a estratégia precisa estar completamente integrada com as formas de trabalho da manufatura e variáveis (JABBOUR et al., 2012). Caso contrário, nenhuma sobrevivência em longo prazo pode ser garantida.

3.2 ANÁLISE LEAN & GREEN SOB UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE

Sustentabilidade é a capacidade de durar. Para os seres humanos, a sustentabilidade é o potencial para a manutenção do bem estar a longo prazo, que tem dimensões ecológicas, econômicas, políticas e culturais (SCHRETTLE et al., 2013). A dificuldade em fazer o conceito de sustentabilidade e sua aplicação claros foi explorada por muitos pesquisadores. O *Journal of Cleaner Production* tem contribuído significativamente neste campo, publicando diversos estudos relacionados ao tema. Glavic e Lukman (2007) apresentam um estudo que resume a definição de sustentabilidade e seus termos. Lozano (2008b) identifica a necessidade de muitos para entender completamente o conceito, apresentando um estudo que não só amplia o conceito de sustentabilidade, mas também esclarece as suas dimensões. O mesmo autor, em um segundo estudo (LOZANO, 2012), apresenta uma pesquisa que discute como as

iniciativas voluntárias de sustentabilidade de uma empresa contribuem para as dimensões da sustentabilidade.

A **Tabela 7**, adaptada do estudo de Lozano, apresenta uma lista dessas estratégias de sustentabilidade/verde (a maioria das quais também exploradas pelo Relatório *Lean & Green* (ZOKAEI et al., 2010) e como elas contribuem para as três dimensões centrais da sustentabilidade (1) Econômica (2), do Meio Ambiente e (3) Social. Com estrutura e prioridades diferentes, todas essas estratégias descrevem as condições para sistemas sustentáveis e propõe estratégias, a fim de tornar o conceito de desenvolvimento sustentável viável.

Tabela 7: Exemplos de estratégias de sustentabilidade/corporativa e suas contribuições para as dimensões da sustentabilidade

Estratégias de sustentabilidade/corporativas	Dimensões da sustentabilidade		
	Lucro/ Econômica	Planeta / Meio Ambiente	Pessoas / Social
Meios de vida sustentáveis	Contribuição total	Contribuição total	Contribuição total
Tripé de sustentabilidade	Contribuição total	Contribuição total	Contribuição total
<i>The Natural Step</i>	Contribuição parcial	Contribuição total	Contribuição parcial
Sistema de gerenciamento ambiental	Nenhuma	Contribuição total	Nenhuma
Contabilidade Ambiental e Social	Contribuição total	Contribuição total	Contribuição total
Análise de ciclo de vida	Nenhuma	Contribuição total	Nenhuma
Produção mais limpa	Contribuição total	Contribuição total	Nenhuma
Design para o Meio Ambiente	Nenhuma	Contribuição total	Nenhuma
Eco eficiência	Contribuição total	Contribuição total	Nenhuma
Ecologia Industrial	Contribuição total	Contribuição total	Nenhuma
Fator X	Contribuição parcial	Contribuição total	Nenhuma
Química verde	Nenhuma	Contribuição total	Nenhuma
Responsabilidade Social Corporativa	Nenhuma	Contribuição parcial	Contribuição total
Relatório sustentável	Contribuição total	Contribuição parcial	Contribuição parcial
Cidadania corporativa	Nenhuma	Nenhuma	Contribuição total

Fonte: Lozano (2012).

A conclusão tirada a partir da **Tabela 7** é que, embora estes conceitos tenham 20 anos de idade, a maioria das estratégias de sustentabilidade/*green* tem seu foco principal na preservação do meio ambiente. A maioria, da maneira como são propostas, é integrada, ou não é parte dos blocos de construção básicos das estratégias de manufatura.

Portanto, seguindo essa ideia, é possível concluir que existe uma falta de estratégias de sustentabilidade/*green* capazes de contribuir para as três dimensões principais da sustentabilidade (pessoas, lucro e planeta) que estão totalmente integradas aos aspectos mais importantes do negócio. Embora a sustentabilidade seja um conceito sistêmico, que propõe a integração das questões ambientais com os aspectos sociais e econômicos da sociedade, equilibrando nossas atividades de negociação a fim de refletir os sistemas naturais, as práticas ambientais sustentáveis mais populares não são capazes de lidar com as três dimensões da sustentabilidade.

Conforme discutido anteriormente, Bicheno (2000) argumenta que o objetivo geral do pensamento *lean* pode ser descrito em quatro dimensões principais (1) S-Segurança, (2) Q-Qualidade (3), E-entrega e (4) C-Custo. Isso significa que, “*produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício*” é o objetivo final de uma empresa *lean*. Portanto, o pensamento *lean* concentra-se na otimização dos recursos produtivos orientados pelo cliente - tempo, pessoas, máquinas, espaço, etc., e, conseqüentemente, na redução dos desperdícios.

De acordo com Hines et al. (2004), o pensamento *lean* puro não só incide sobre uma dimensão da sustentabilidade, (1) o lucro, mas também auxilia o outro, as (2) pessoas. Considerando-se os métodos científicos e envolvimento de pessoas como base para suas ferramentas e técnica, *lean* apresenta uma metodologia forte para incorporar a dimensão social e de pessoas em uma abordagem de pensamento do sistema. Portanto, de acordo com os autores, o pensamento *lean* puro contribui para duas dimensões do conceito de sustentabilidade, a saber:

- Contribui totalmente para a **dimensão de lucro** devido ao seu foco central estar na eliminação dos sete desperdícios clássicos e na redução dos custos, e
- Contribui parcialmente para a **dimensão de pessoas** devido ao seu foco estar na filosofia de melhoria contínua “*Kaizen*” para solução de problemas e envolvimento de pessoas.

Hawken et al. (1999) consideram que há um grande potencial para a integração de pensamento *lean* com a sustentabilidade ambiental. *Lean* criou um novo paradigma de produção, que inclui um elemento de sustentabilidade ambiental. Portanto, o pensamento *lean* é *green* quando se considera também a redução de materiais e energia que são exigidas pela produção, bem como os desperdícios produzidos pela produção. Até recentemente

manufatura *lean* e a aplicação do pensamento *lean* concentraram-se nos aspectos econômicos da sustentabilidade e em alguns dos aspectos sociais da sustentabilidade. No entanto, a essência do *lean* é produzir mais com menos, isso implica que as organizações de pensamento *lean* utilizam menos recursos, em relação a matérias-primas e energia.

Segundo Hall (2010), embora o pensamento *lean* já explore alguns aspectos da sustentabilidade, pessoas e lucro, a sustentabilidade vai além, incluindo a ideia de impacto ambiental - massa e fluxo de energia de tudo o que entra e sai do sistema. Portanto, com base na abordagem do pensamento *lean*, para gerir as três dimensões principais da sustentabilidade (pessoas, lucro e planeta), uma empresa de manufatura *lean* tem de se concentrar em eliminar desperdícios (lucro), “*Kaizen*” (pessoas) e também explicar o movimento de massa e energia dentro e através das fronteiras, mesmo que essas fronteiras sejam apenas uma célula de produção, toda a fábrica ou a cadeia de abastecimento (planeta).

3.3 ANÁLISE GREEN SOB UMA PERSPECTIVA LEAN

A ideia geral por trás do conceito de pensamento *green* é a compreensão da natureza como algo limitado. O objetivo geral do pensamento *green* pode ser descrito em uma dimensão (Meio Ambiente), com dois focos principais (MOREIRA et al., 2010): (1) a produção com a máxima produtividade no uso dos recursos naturais e com o (2) mínimo impacto ambiental.

Embora a ideia de pensamento *lean* não seja amplamente explorada pelos praticantes ambientais, muitos artigos têm se referido aos fundamentos do pensamento *lean*, tais como a necessidade de envolvimento de pessoas (BOYLE, 1999; PERRON et al., 2006; REMMEN e LORENTZEN, 2000; STONE, 2000; VENSELAAR, 1995), o aprender fazendo (DIELEMAN e HUISINGH, 2006), melhoria contínua (FRESNER, 1998) e ferramentas de resolução de problemas (CALIA et al., 2009). Estes princípios têm sido utilizados em estudos que utilizam práticas ambientais para mostrar que existe uma ligação entre as práticas *lean* & *green*. A **Tabela 8** mostra alguns desses artigos.

Tabela 8: Artigos que mostram integração entre ideias do pensamento *lean* e práticas *green*

Integrando fundamentos <i>lean</i> e práticas <i>green</i>	Título	Autores	ANO
Melhoria Contínua	<i>Starting continuous improvement with a cleaner production assessment in an Austrian textile mill</i>	FRESNER	1998
Envolvimento dos funcionários	<i>Environmental training: industrial needs</i>	VENSELAAR	1995
	<i>Cleaner Production”; Training; Asia; Workshops; “Waste minimization</i>	BOYLE	1999
	<i>When case studies are not enough: the influence of corporate culture and employee attitudes on the success of cleaner production initiatives</i>	STONE	2000
	<i>Employee participation and cleaner technology: learning processes in environmental teams</i>	REMMEN e LORENTZEN	2000
	<i>Improving environmental awareness training in business</i>	PERRON et al.	2006
	<i>A learning and knowledge approach to sustainable operations</i>	GAVRONSKI et al.	2012
Aprender fazendo	<i>Games by which to learn and teach about sustainable development: exploring the relevance of games and experiential learning for sustainability</i>	DIELEMAN e HUISINGH	2006
Utilização de ferramentas de resolução de problemas	<i>The impact of Six Sigma in the performance of a Pollution Prevention program</i>	CALIA et al.	2009

Estes autores afirmam que existem ligações intrínsecas entre *lean* e *green*. As ferramentas e os fundamentos *lean* são bem sucedidos quando usados para promover melhorias ambientais.

Outro bom exemplo dessa integração é o conceito *Kyosei* (KAKU, 1997; LOZANO, 2008a). Lozano (2008a) explora a ideia de que o envolvimento e colaboração são fundamentais para a criação de uma organização sustentável. Segundo este autor, as abordagens colaborativas podem ajudar a construir organizações mais fortes e mais orientadas para a sustentabilidade, porque a colaboração é um elemento-chave para ajudar as pessoas a entender que eles pertencem a um sistema maior. Gestão ambiental e desenvolvimento sustentável igualmente obrigam as empresas a participar em ações colaborativas que vinculam questões de negócios às preocupações ambientais e sociais. Kaku (1997) relata que, seguindo o conceito *Kyosei*, a Canon foi capaz de reduzir as emissões e uso de recursos, enquanto, simultaneamente, aumentava as suas receitas. O conceito de

Kyosei, foca no engajamento, colaboração e interações interpessoais e intergrupais, e é alcançado por empresas *lean* que utilizam Kaizen.

Para os pesquisadores que reconhecem a existência de pensamento *lean*, houve várias iniciativas para discutir os aspectos positivos e negativos do uso *lean* para manter o meio ambiente, utilizando diferentes aspectos e ferramentas *lean* para a resolução de problemas ambientais.

Hawken et al. (1999), argumentam que há uma grande possibilidade de integrar o pensamento *lean* com o pensamento *green*. Uma vez que a essência *lean* é produzir mais com menos, essa ideia indica que as organizações de pensamento *lean* usam menos recursos, em relação a matérias-primas e energia.

De acordo com Gustashaw e Hall (2008), em uma organização na qual *lean* já é o coração do seu sistema de negócio, e *Kaizen* é a base para a cultura de melhoria contínua, a mesma estratégia pode ser expandida para melhorar a produção de energia e fluxos de materiais. A implantação de uma estratégia que melhore a forma como os produtos e materiais são adquiridos, fabricados, comercializados e descartados no final do seu ciclo de vida significa que o pensamento *lean* pode ser usado para a criação de uma produção sustentável. O autor afirma que pela lógica *lean*, a melhoria ambiental termodinâmica dos fluxos massa-energia dentro de uma fábrica pode beneficiar muito um modelo de negócio existente. Há poucas práticas ou modelos (KURDVE et al., 2011) que integram o pensamento *lean* e pensamento *green* capazes de mesclar os seus princípios básicos.

Hajmohammad et al. (2013), em um estudo que compara práticas *lean* e *green* concluíram que as práticas ambientais são as principais condutoras para alcançar um melhor desempenho ambiental. Assim, a integração é a chave. A conexão do pensamento *lean* com práticas de negócio *green* é também explorada por praticantes *green*. Muitos pesquisadores têm estudado e proposto abordagens integradas (ATKINSON, 1994; CAGNO et al., 2005; ZWETSLOOT, 1995). Alguns deles investigam o contexto da produção verde (BALDWIN et al., 2005; DEIF, 2011; HUI et al., 2001; SILVA e AMARAL, 2009; XUE et al., 2007). Outros exploram limitações e fatores de sucesso em produção mais limpa, iniciativas de prevenção da poluição, fatores de apoio à liderança e as possibilidades de integração em modelos de negócio existentes (BAAS, 1995, 2007; BERKEL, 1994; HÖJER et al., 2008; ROBÈRT et al., 2002a, 2002b; STONE, 2006a, 2006b; ZWETSLOOT e GEYER, 1996). A **Tabela 9** apresenta uma lista de exemplos.

Tabela 9: Artigos que exploram a ideia de abordagens integradas para conectar pensamento de negócio (tal como *lean*) e o *green*

CHAVE	Título	Autores	ANO
ARTIGOS QUE PROPÕE A NECESSIDADE DE INTEGRAÇÃO DA PREVENÇÃO DE POLUIÇÃO AOS SISTEMAS EXISTENTES	<i>Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports</i>	Enrico Cagno et al.	2005
	<i>Improving cleaner production by integration into the management of quality, environment and working conditions</i>	Gerard I.J.M. Zwetsloot	1995
	<i>New models of pollution prevention technical assistance</i>	Robert D. Atkinson	1994
ARTIGOS QUE EXPLORAM A IDEIA DE ABORDAGENS INTEGRADAS PARA MANUFATURA, MANUFATURA GREEN	<i>A study of the Environmental Management System implementation practices</i>	I.K Hui et al.	2001
	<i>Modeling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development</i>	James Scott Baldwin et al.	2005
	<i>A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management</i>	Kainuma e Tawara	2006
	<i>Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input–output models</i>	H. Xue et al.	2007
	<i>An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes</i>	Silva e Amaral	2009
	<i>A resource-based view of green supply chain</i>	I. Gravronski et al.	2011
	<i>A system model for green manufacturing</i>	Ahmed M. Deif	2011
ARTIGOS QUE EXPLORAM ALGUMAS LIMITAÇÕES E FATORES DE SUCESSO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA, INICIATIVAS DE PREVENÇÃO DE POLUIÇÃO QUE EXPRESSAM A NECESSIDADE DE UMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA, APOIO DE LIDERANÇA E INTEGRAÇÃO COM MODELOS DE NEGÓCIO EXISTENTES	<i>Comparative evaluation of cleaner production working methods</i>	C.W.M. van Berkel	1994
	<i>The essential elements for successful cleaner production programmes</i>	Zwetsloot e Geyer	1996
	<i>To make zero emissions technologies and strategies become a reality, the lessons learned of cleaner production dissemination have to be known</i>	Leo Baas	2007
	<i>Cleaner production: beyond projects</i>	Leo W. Baas	1995
	<i>Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents I. Achieving commitment and on-going improvement</i>	Lesley J. Stone	2006
	<i>Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents. II. Leadership, support, communication, involvement and programme design</i>	Lesley J. Stone	2006
	<i>Strategic sustainable development — selection, design and synergies of applied tools</i>	K.-H. Robèrt et al.	2002
	<i>Scenarios in selected tools for environmental systems analysis</i>	Mattias Höjer et al.	2008
	<i>Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms</i>	Yang et al.	2011
	<i>Environmental Management in Brazil: is it a completely competitive priority</i>	Jabbour et al.	2012

Embora estes pesquisadores explorassem a ideia de uma abordagem integrada, nenhum deles explorou totalmente o potencial de adaptar o pensamento *lean* para estabelecer um novo modelo para a prevenção da poluição. No entanto, a pesquisa existente endossa as seguintes conclusões:

- Os principais objetivos das práticas ambientais são (i) melhorar a utilização dos recursos naturais e (ii) reduzir o impacto ambiental. Embora estes possam apoiar a melhoria de negócios e estratégia (como a redução de custos), as práticas ambientais são muitas vezes referidas como sendo iniciativas de proteção ambiental exclusivamente.
- Há poucas práticas ou modelos (KURDVE et al., 2011) que integram o pensamento *lean* e pensamento *green* fundindo seus princípios fundamentais (para manufatura *lean*, os cinco princípios fundamentais, para manufatura *green*, (i) melhorar a utilização dos recursos naturais e (ii) reduzir os impactos ambientais) para criar um modelo integrado que considera e prioriza manufatura *lean* e *green* simultaneamente.
- Não há prática ambiental que considere um certo nível de estabilidade de produção, ou a implantação *lean*, como um pré-requisito.

3.4 ANÁLISE LEAN SOB UMA PERSPECTIVA GREEN

Houve uma preocupação entre os pesquisadores de *lean* que a melhoria do desempenho ambiental poderia comprometer a sustentabilidade econômica de uma organização e que muitas empresas não poderiam pagar o custo de satisfazer as suas responsabilidades ambientais (FLORIDA, 1996; FOUND, 2009). No entanto, há muitos exemplos em que a melhoria do desempenho ambiental melhorou o lucro de uma empresa. Além disso, vários autores reconhecem que a manufatura *lean* contribuiu significativamente para o meio ambiente (COBERT e KLASSEN, 2006; KING e LENOX, 2001; MAXWELL et al., 1993; PORTER e VAN DER LINDE, 1995).

Diversos estudos que analisam as sinergias entre o pensamento *lean* puro e as práticas de melhoria ambiental debatem os aspectos positivos e negativos de utilizar a manufatura *lean* para apoiar as práticas ambientais. Estes estudos põem em prática

diferentes aspectos e ferramentas da manufatura *lean* para a solução de problemas ambientais e, por isso, contribuem para um negócio mais sustentável.

Vais et al. (2006) publicaram um estudo intitulado “*Lean & Green*” desenvolvido em uma fábrica de papel de seda da Romênia. Eles analisaram o desenvolvimento de projetos técnicos ambientais que tinham por objetivo cumprir as exigências legais e o uso de ferramentas *lean*, como 5S, a filosofia *Kaizen* e manutenção autônoma; essas ferramentas foram usadas para desenvolver melhorias graduais, que por sua vez otimizaram o uso dos recursos naturais e o resultado da produção.

A Agência de Proteção Ambiental publicou *The Lean and Environmental Toolkit* (Manual *Lean* e Ambiental) em dezembro de 2006 (EPA, 2006) para demonstrar que as ferramentas *lean* tradicionais podem ser utilizadas no desperdício ambiental. Este manual estabeleceu diretrizes para a utilização de ferramentas de manufatura *lean* para melhorar o fluxo de material nos fluxos principais que apoiam o processo de produção e que, por sua vez, podem afetar o meio ambiente (por exemplo, energia, produtos químicos e outros tipos de resíduos). Algumas das principais conclusões apresentadas pela EPA são: (1) o *Lean* produz um ambiente operacional e cultural que é altamente propício à minimização de desperdício e prevenção da poluição, (2) o *Lean* pode ser aproveitado para produzir ainda mais a melhoria ambiental, (3) alguma “fricção” reguladora pode ser encontrada ao aplicar o *Lean* em processos ambientalmente sensíveis; (4) agências ambientais têm uma janela de oportunidade - enquanto as empresas estão introduzindo iniciativas e investimentos *lean* - para colaborar com os promotores *lean* para melhorar ainda mais os benefícios ambientais associados ao *lean*.

Biggs (2009) conduziu um estudo em detalhado sobre a integração de pensamento *lean* e melhoria ambiental, concluindo que a abordagem *lean* pode ajudar a explicar a redução de impacto ambiental para os negócios. Isso ocorre porque o pensamento *lean* é capaz de proporcionar benefícios ambientais, mesmo que não haja nenhuma intenção direta para reduzir o impacto ambiental e, além disso, o pensamento *lean* pode ser usado para fazer melhorias ambientais, bem como melhorias na produtividade. A **Tabela 10** mostra a ligação entre as sete tipos clássicos de desperdícios *lean* e o seu impacto no meio ambiente apresentado no estudo.

Tabela 10: Tabela que resume impacto ambiental e desperdício

Tipo de Desperdício	Exemplos	Impactos ambientais
Defeitos	Sucata, retrabalho, produção de reposição, inspeção	Matérias-primas utilizadas na fabricação produtos defeituosos Componentes defeituosos exigem a reciclagem ou eliminação Mais espaço necessário para o retrabalho e reparação, aumentando o uso de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação
Espera	Falta de produtos, muito atraso no processamento, tempo ocioso das máquinas, estrangulamento da capacidade	Possível deterioração do material ou Danos aos componentes causando desperdício Desperdício de energia no aquecimento, resfriamento e iluminação durante paradas na produção
Superprodução	Itens produzidos para o qual não há pedidos	Mais matérias-primas utilizadas na fabricação de produtos desnecessários Produtos adicionais podem estragar ou tornarem-se obsoletos exigindo eliminação
Movimentação	Movimentações humanas que são desnecessárias ou excessivas, carregamento para longas distâncias, transporte	Mais energia para transporte Emissões causadas pelo transporte Mais espaço é necessário para movimentação, aumentando a demanda de iluminação, aquecimento, resfriamento e consumo de energia Mais embalagens são necessárias para proteger os componentes durante a movimentação
Estoque	Matéria-prima, o material em fase de processamento (WIP), ou produtos acabados excedentes	Mais embalagens para armazenar o material em fase de processamento Desperdício causado pela deterioração ou danos ao material em fase de processamento armazenado Mais materiais são necessários para substituir o material em fase de processamento estragado Mais energia usada para aquecer, resfriar e iluminar a área de armazenamento
Complexidade	Mais peças, mais etapas do processo, ou mais tempo do que o necessário para atender às necessidades dos clientes	Mais peças e matérias-primas utilizadas por unidade de produção Processamento desnecessário aumenta desperdício, uso de energia e emissões
Criatividade não utilizada	Tempo, ideias, habilidades, melhorias e sugestões dos funcionários não aproveitados	Poucas sugestões de prevenção de poluição e oportunidades de minimização de desperdício

Fonte: BIGGS, 2009

A conclusão de Biggs (2009) sustenta aquelas de Wormack e Jones (1998), que afirmaram que os princípios do pensamento *lean* podem ajudar a tornar práticas *green* mais eficazes, expondo desperdício *green* escondido e eliminando-o. Os destaques de alguns dos achados dos autores são:

- *Lean*, como ele é, é capaz de proporcionar benefícios ambientais, mesmo que não haja intenção direta de reduzir o impacto ambiental; redução de desperdícios *lean* tem efeitos na redução dos impactos ambientais.

- A utilização de ferramentas *lean*, tais como redução de estoque (Kanban), *Just in Time*, *Right first time*, *Kaizen*, Padrão de trabalho, 5S, mapeamento e solução de problemas, pode auxiliar na redução do impacto ambiental;
- A metodologia *lean* pode ser usada para fazer melhorias ambientais bem como melhorias de produtividade;
- *Kaizen*/Melhoria Continua (MC), evento *Kaizen* e envolvimento dos funcionários e sugestões são métodos popularmente apresentados para obter benefício ambiental com a implementação do *Lean*.
- É a cultura da eliminação do desperdício e experimentação, solução de problemas e melhoria da melhor prática encorajada pelo *Lean* que pode ajudar as empresas a fazer melhorias ambientais;
- A abordagem *Lean* pode ajudar a explicar o negócio para a redução de impacto ambiental.

Moreira et al. (2010) desenvolveram um estudo que integra os conceitos de pensamento *lean* e eco eficiência. Após analisar várias publicações que exploram a relação entre a produção *lean* e produção *green*, os autores identificaram as três principais causas de desperdício de produção, devido à fraca performance ambiental: (1) o consumo de energia, (2) consumo de material e (3) as emissões de poluentes. Os autores desenvolveram uma estrutura para a integração dos sete desperdícios *lean* clássicos (isto é, superprodução, estoque, transporte, movimentação, defeitos, espera e processamento extra) com os tipos de impacto ambiental anteriores, o consumo de energia, o consumo de materiais e de emissões, e eles mostraram que o desperdício ambiental está incorporado aos sete desperdícios clássicos de produção. Embora os autores não descrevam explicitamente as principais características do pensamento *lean*, este estudo apoia a noção de que o pensamento *lean* pode ajudar a explicar a redução de impacto ambiental para as empresas.

Salleh et al. (2012) desenvolveram um sistema que integra a gestão da informação em práticas de sistemas de gestão ambiental com TQM (Gestão da Qualidade Total) em manufatura *lean*. O objetivo deste sistema é atingir a eficiência total de comunicação utilizando um sistema TQM verde e *lean*. Este sistema gerencia as informações e ao mesmo tempo em que lida com as preocupações ambientais. Este estudo fornece algumas percepções preliminares, especialmente para empresas que procuram um sistema adequado para melhorar a sua produtividade através da gestão eficiente da informação. O estudo

revela ainda que os sistemas de informação *lean & green* podem ser integrados e que o mesmo banco de dados pode suportar ambos os sistemas.

Em pesquisa mais recente, Dues et al. (2012) examinaram como práticas *lean* podem agir como catalisadores para as operações de “ecologização”. Os autores sugerem que a conexão *lean & green* vai além da noção de redução de desperdício e, na verdade, se sobrepõe em áreas tais como (1) ferramentas e práticas, (2) a relação da cadeia de suprimentos, (3) redução do tempo de espera, (4) o foco nas pessoas e organização e (5) o uso de técnicas de redução de desperdício. A análise da literatura aplicada desenvolvido pelos autores identificou que manufatura *lean* não serve apenas como um catalisador, mas também é sinérgica para a manufatura *green*. Os resultados da sua pesquisa incluem o seguinte:

- Práticas *green* já não são opcionais para as empresas e não podem ser ignoradas. A empresa *green* não é necessariamente uma empresa *lean*, já que pensamento *lean* está focado na eficiência de produção. Além disso, através da introdução de práticas *green* em um ambiente operacional *lean*, as empresas, muitas vezes, tem que fazer *trade-offs* entre objetivos múltiplos que não são perfeitamente compatíveis.
- Fabricantes *lean*, no entanto, são, muitas vezes, mais *green* do que as empresas não *lean*. Fabricação *green* é uma extensão natural de manufatura *lean*, embora muitas práticas *lean* são *green*, sem a intenção explícita de ser *green*.
- Manufatura *lean* pode servir como um catalisador para facilitar a implementação de melhorias ambientais. Processos de pensamento *lean* são benéficos para práticas *green*, e a implementação de práticas *green* tem uma influência positiva sobre as práticas de negócio existentes.
- A integração das práticas *lean* e *green* beneficia as empresas. A incerteza quanto às práticas *green* é alimentada pelo fato de que há uma confusão sobre a manufatura *green*, e existem muito poucos modelos independentes, regulamentos e melhores práticas que apoiam a sua implementação. Visto que práticas *green* não são o ponto central de muitas empresas, o potencial para maximizar os ganhos *green* com a implementação de uma estrutura *green* simples é significativo. Portanto, é essencial integrar as duas estratégias e implementá-las simultaneamente para explorar plenamente o efeito sinérgico.

Depois disso, há ligações intrínsecas entre *lean* e *green* – em especial devido ao foco incansável de *lean* sobre a eliminação de desperdício. Ao longo das últimas duas décadas a comunidade *lean* tem se concentrado em melhorias operacionais para construir uma melhoria contínua. No modelo *lean*, o trabalho baseia-se nos princípios de melhoria contínua, ou “*Kaizen*”. Os funcionários são responsáveis pela identificação dos problemas de qualidade encontrados na linha de produção e, em contraste com a produção de massa, são capazes de parar a linha de produção devido a tais problemas. Os funcionários da fábrica são organizados em equipes, com um líder de equipe realizando um papel de coordenação, além de tarefas de montagem (ROTHENBERG, 2001). Um benefício das atividades de prevenção de poluição é que eles são, muitas vezes, "valor agregado" para a empresa, uma vez que reduzir os custos através da redução do uso de material ou através da economia de custos de gestão de desperdício (FLORIDA, 1996; FOUND, 2009).

O próximo desafio para a comunidade *lean* é conscientemente prestar contas das questões ambientais. Gordon (2001) discute algumas formas para integrar as práticas *lean* e *green* com foco em práticas de redução de custos. Hawken et al. (1999), no texto básico *Capitalismo Natural*, discutem a importância não só do desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável, mas também de como as diferentes práticas existentes podem ser aplicadas para apoiar um negócio ambiental orientado.

Gavronski et al. (2012) destacam o efeito que um clima social positivo em nível de fábrica tem na promoção de uma maior ênfase na prevenção da poluição. Gestores, a fim de promover a prevenção da poluição deve estimular tanto clima social e troca de conhecimentos na fábrica. Os gestores também devem apoiar os sistemas de gestão ambiental, não como processo burocrático de documentação e cumprimento das normas, mas também como uma fonte de melhoria de processos e inovação. O bloco de construção básico do pensamento *lean* é a melhoria contínua, *Kaizen*, com seu foco na resolução de problemas e envolvimento dos funcionários que se encaixa perfeitamente com a noção de criação de uma indústria mais sustentável. Portanto, a busca da melhoria contínua, ou seja, *Kaizen*, criou oportunidades substanciais para a prevenção de poluição e desperdício e redução de emissões.

3.5 ANÁLISE DA LITERATURA DOS PRINCIPAIS FATORES

O capítulo 3 apresentou a análise de lacunas e interações dos blocos individuais de literatura que compõem este trabalho para estabelecer a base para o L&GBM. Esta análise foi dividida em quatro blocos principais com o objetivo de testar oito hipóteses principais:

- **Análise *lean & green* sob uma perspectiva de operações**

(1) Práticas *lean* exigem um maior nível de integração com a manufatura do que práticas *green*.

(2) Práticas *green* devem considerar um maior nível de integração com os meios de produção, a fim de alcançar melhores resultados.

- **Análise *lean & green* sob uma perspectiva de sustentabilidade**

(3) A maioria das práticas de sustentabilidade / *green* não contribui por completo com as três dimensões principais da sustentabilidade.

(4) Pensamento *lean* puro contribui para duas dimensões de sustentabilidade: (i) lucro e (ii) pessoas.

- **Análise *green* sob uma perspectiva *lean***

(5) Embora possam apoiar a melhoria de negócios e estratégia (como a redução de custos), as práticas ambientais são muitas vezes definidas como iniciativas de proteção ambiental.

(6) Há vários exemplos que atestam a sinergia entre práticas *lean & green*, mas poucos têm proposto uma maneira diferente de pensar.

- **Análise *lean* sob uma perspectiva *green***

(7) A utilização *lean* pura promove a melhoria do meio ambiente, mesmo que não haja nenhuma intenção direta para reduzir o impacto ambiental.

(8) Uma nova maneira de pensar pode ser criada através da integração do pensamento *lean* puro a uma nova dimensão – (iii) o planeta.

Após a análise apresentada ao longo do Capítulo 3, é possível destacar as ideias fundamentais identificadas ao longo da análise da literatura, que são apresentadas na **Figura**

12.

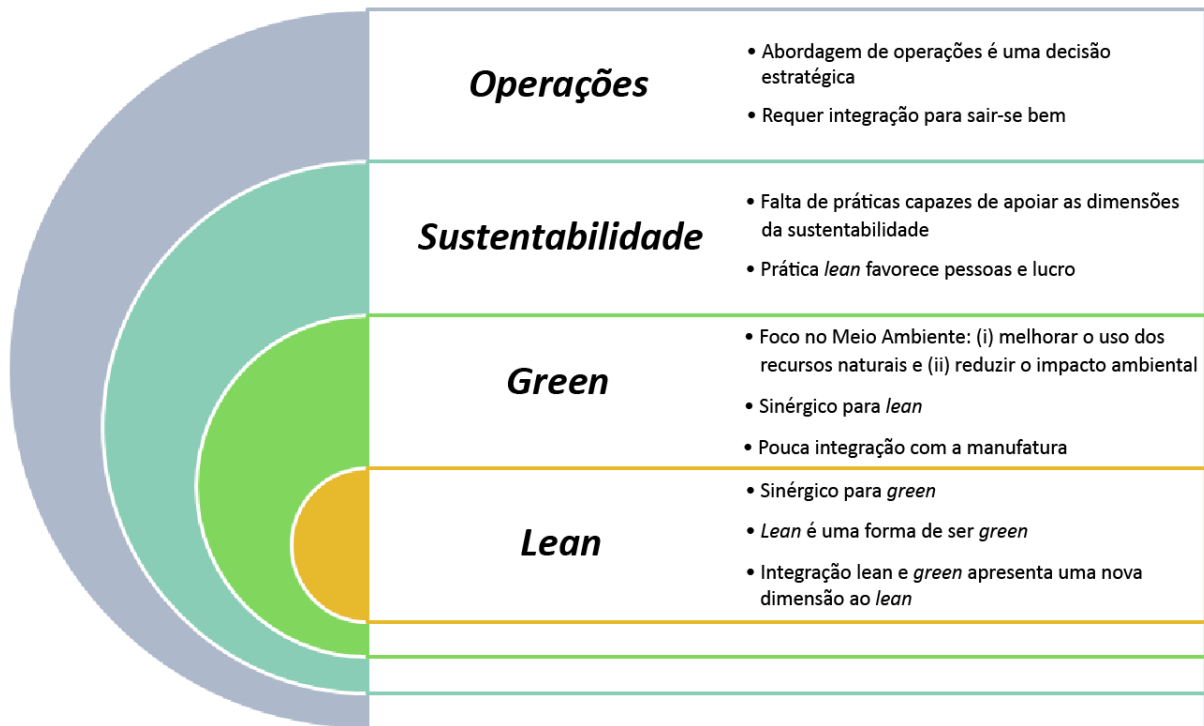


Figura 12: Ideias fundamentais identificadas ao longo da análise da literatura
 Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Na sequência destas conclusões, os dados e análise serão a base para a proposta de um novo modelo, chamado de Modelo de Negócios *Lean & Green* ou Modelo de Negócios Enxuto & Verde (L&GBM), em que a sustentabilidade ambiental é integrada ao conceito de pensamento *lean* puro. O modelo adota uma abordagem *Kaizen* para tratar e melhorar os fluxos de massa e energia em um ambiente de produção que já possui um nível de implantação suficiente na aplicação de manufatura *lean*.

O modelo foi projetado para ser aplicado nos níveis de fluxo de células e de valor através de um evento de equipe *Kaizen* multifuncional que garante que todos os membros da equipe estejam totalmente envolvidos e tenham a oportunidade de contribuir com as suas ideias.

CAPÍTULO 4: MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo é dedicado a explicar a metodologia aplicada para o desenvolvimento desta pesquisa, o cronograma da pesquisa e a descrição dos seminários desenvolvidos com especialistas e acadêmicos para a avaliação do L&GBM desenvolvido. O conteúdo deste capítulo será apresentado da seguinte forma:

4.1 Projeto de pesquisa, explicação do método de pesquisa, cronograma da pesquisa e desenvolvimento do processo;

4.2 Descrição da empresa-piloto;

4.3 Descrição do seminário desenvolvido com especialistas mundiais;

4.4 Recomendações gerais dos acadêmicos para o L&GBM.

4.1 PROJETO DE PESQUISA E CRONOGRAMA

A análise e definições para projetar a estrutura de pesquisa foram baseadas nos estudos apresentados por Gil (2009), Bryman e Bell (2007) e Kumar (2005). Em termos gerais, a estrutura básica de pesquisa desenvolvida para aplicação de L&GBM nos processos de produção pode ser descrita como pesquisa-ação exploratória aplicada com base de dados mistos. A **Tabela 11** apresenta a estrutura básica relacionada à metodologia de pesquisa aplicada para o desenvolvimento da pesquisa e do L&GBM.

Tabela 11: Projeto de pesquisa aplicado para o desenvolvimento do L&GBM

Critério	Classificação	Detalhes da classificação
Objetivo da Pesquisa	Aplicada	Estudos aplicados são os estudos que têm como objetivo a aquisição de conhecimento a ser aplicado em uma situação específica. Neste caso específico, o principal objetivo é adaptar a filosofia de produção e formas de trabalho, tais como pensamento <i>lean</i> , para apoiar o desenvolvimento de negócio ambiental sustentável através da redução do impacto ambiental e do aumento da produtividade no uso dos recursos.
Tipo de estudo	Exploratório	<p>A pesquisa exploratória tem como principal objetivo facilitar o entendimento do problema de pesquisa através da criação de uma hipótese. Portanto, este tipo de pesquisa tem como principais objetivos esclarecer, desenvolver ou mudar conceitos e ideias. No caso desta pesquisa, as principais hipóteses são:</p> <p>(1) práticas de manufatura <i>lean</i> podem ser adaptadas e usadas como uma estratégia para alcançar sustentabilidade ambiental de negócio;</p> <p>(2) os blocos de construção básicos das outras práticas ambientais sustentáveis podem ser integrados aos conceitos de manufatura <i>lean</i>, a fim de apoiar as estratégias de negócios para alcançar a sustentabilidade;</p> <p>(3) uma abordagem integrada <i>lean & green</i> é diferente de práticas <i>lean</i> e <i>green</i> puras por si só;</p> <p>(4) Conceitos <i>lean</i> e sustentabilidade podem ser integrados e colocar em prática em um ambiente de produção;</p>
Método de Pesquisa	Pesquisa de métodos mistos	Pesquisa de métodos mistos envolve a coleta, análise e combinação de dados quantitativos e qualitativos em um único estudo ou em uma série de estudos. Neste caso, ambas as abordagens quantitativas e qualitativas são consideradas em combinação proporcionando uma melhor compreensão dos problemas de pesquisa, do que qualquer um dos métodos sozinho. Neste tipo de estudo, dados quantitativos e qualitativos são importantes. Para esta pesquisa, o seu lado qualitativo irá considerar a percepção do pesquisador relacionado com o principal objetivo de pesquisa, tais como implementações e impactos da aplicação do L&GBM, compreendendo as diferenças da natureza do modelo, o que corresponde a uma compreensão mais profunda dos fenômenos, ideias, processos e inter-relações. Do lado quantitativo, este estudo considera a análise de dados quantitativos de redução de desperdício ambiental. Os resultados e resultados entregues do modelo L&GBM também são analisados de maneira quantitativa.
Projeto de Pesquisa	Pesquisa-ação	<p>Este é um tipo de pesquisa que tem uma base empírica e que é desenvolvida associada a uma ação específica ou a resolução de um problema comum, onde todos os pesquisadores e participantes estão envolvidos (de forma cooperativa).</p> <p>No caso do desenvolvimento do L&GBM, os pesquisadores estão atuando, envolvidos e participando de todas as etapas do desenvolvimento da pesquisa.</p>

A pesquisa-ação ou pesquisa de ação participativa é um processo reflexivo de resolução progressiva de problemas liderada por pessoas que trabalham com os outros em equipes ou como parte de uma “comunidade de prática” para melhorar a forma como eles abordam questões e resolvem problemas. A pesquisa-ação envolve o processo de participação ativa em uma situação de mudança organizacional, enquanto realizam a pesquisa. A pesquisa-ação também pode ser realizada por organizações maiores ou instituições, assistida ou orientada por pesquisadores profissionais, com o objetivo de melhorar as suas estratégias, práticas e conhecimento dos ambientes em que eles praticam. Como designers e *stakeholders*, os pesquisadores trabalham com outros para propor um novo curso de ação para ajudar a sua comunidade a melhorar as suas práticas de trabalho. De acordo com Gil (2009), um tipo de estudo pesquisa-ação é desenvolvido em sete etapas: (1) fase exploratória, (2) o entendimento do problema, (3) a definição da hipótese (4) seminário (5), o escopo do projeto, (6) a coleta de dados e (7) análise dos resultados. A **Figura 13** apresenta a estrutura básica para a estrutura de pesquisa.

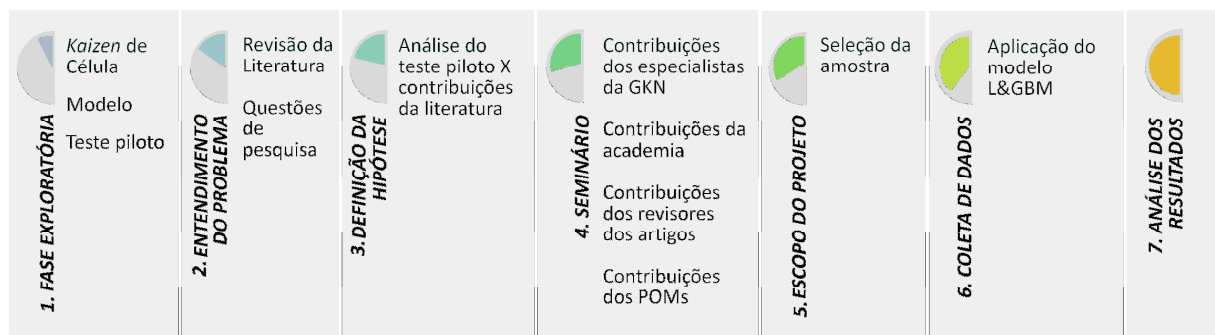


Figura 13: Estrutura da pesquisa aplicada ao desenvolvimento do L&GBM
Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

As principais atividades desenvolvidas em cada fase do desenvolvimento da pesquisa e o cronograma relacionado a elas são apresentados na **Tabela 12**.

Tabela 12: Atividades desenvolvidas em cada fase do desenvolvimento da pesquisa e cronograma

Fase da Pesquisa	Objetivo da fase da pesquisa	Principais desenvolvimentos	Cronograma
1. Fase Exploratória	Identificar o campo e foco da pesquisa, expectativas e apoio mútuo necessários para o desenvolvimento da pesquisa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compreensão da ideia geral do conceito <i>lean & green</i> baseado nos estudos do <i>Lean and Environment Toolkit</i> (Manual <i>Lean</i> e Ambiental da Agência de Proteção Ambiental) (EPA, 2006); 2. Pré-projeto do L&GBM para uma célula; 3. Desenvolvimento de teste-piloto do L&GBM na Célula Monobloco A. 	Mar/2008 a Dez/2008
2. Compreensão do Problema	Confirmar o problema da pesquisa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisão da aplicação do L&GBM na Célula Monobloco A (êxitos e fracassos); 2. Fase I da revisão da literatura com foco no <i>lean</i> e o conceito integrado <i>lean & green</i>; 3. Apresentação da proposta de projeto de doutorado. 	Jan/2009 a Ago/2009
3. Definição das hipóteses	Definir as hipóteses que serão testadas ao longo da pesquisa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Início oficial do doutorado; 2. Discussão das ideias principais da primeira versão do L&GBM para célula com a indústria e acadêmicos (professores da UFRGS e de Cardiff); 3. Fase II da revisão da literatura com foco na sustentabilidade, pensamento de sistemas, práticas de manufatura, gestão de operações e práticas <i>green/ambientais</i>; 4. Revisão do L&GBM para uma célula; 5. Segundo teste-piloto do L&GBM para uma célula na Célula de Montagem 20; 6. Definição das hipóteses do projeto – parte I: <ol style="list-style-type: none"> (1) práticas de manufatura <i>lean</i> podem ser adaptadas e utilizadas como estratégias para alcançar a sustentabilidade ambiental do negócio; (2) os blocos básicos de construção das outras práticas ambientais sustentáveis podem ser integrados aos conceitos de manufatura <i>lean</i> a fim de apoiar estratégias de negócio para alcançar a sustentabilidade; (3) Conceitos <i>lean</i> e de sustentabilidade podem ser integrados e colocados em prática em um ambiente de manufatura. 	Ago/2009 a Jul/2010

(Continua)

(Conclusão)			
Fase da Pesquisa	Objetivo da fase da pesquisa	Principais desenvolvimentos	Cronograma
4. Seminário	Discussão com acadêmicos e indústria sobre os principais dados e blocos básicos de construção da pesquisa	<p>1. Discussão dos resultados do L&GBM com especialistas mundiais em saúde e segurança ambiental (EHS da sigla em inglês) da empresa onde o modelo era testado (Mar & Out/12).</p> <p>2. Observações gerais dos acadêmicos para o L&GBM:</p> <p>(1) POMS (<i>Production and Operations Management Society</i> - Sociedade de Produção e Gestão de Operações) após apresentação do teste-piloto na 21ª Conferência Anual da POMS, 2011, Reno, EUA,</p> <p>(2) Especialistas ambientais após a apresentação do teste-piloto no IV Seminário Internacional de Produção mais Limpa, 2011, POA, Brasil – O trabalho apresentado foi premiado como melhor artigo.</p> <p>(3) Especialistas <i>lean</i> após a apresentação do teste-piloto na LERC Annual Conference 2011. Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK, 2011.</p>	Mar/2010 a Jul/2011
5. Escopo do projeto	Baseado nas considerações dos especialistas, definir o escopo, amostra e estrutura do projeto	<p>1. Projeto do L&GBM para células, células-irmãs e fluxo de valor;</p> <p>2. Definição dos pré-requisitos para a aplicação do modelo baseado no (1) teste-piloto (2) observações dos acadêmicos (3) revisão da literatura;</p> <p>3. Definição das hipóteses projeto – parte II – Revisão das hipóteses da pesquisa baseadas nas observações dos especialistas. Inclusão de novas hipóteses:</p> <p>(4) Uma abordagem <i>lean</i> e <i>green</i> é diferente das práticas <i>lean</i> e <i>green</i> pura por si só;</p>	Nov/2010 a Jul/2011
6. Coleta de dados	Aplicação do modelo projetado	<p>1. Aplicação do L&GBM para uma célula em 7 células em grandes empresas de produção automotiva no Brasil;</p> <p>2. Aplicação do Modelo <i>Lean & Green</i> para as células irmãs em 10 células irmãs em grandes empresas de produção automotiva no Brasil;</p> <p>3. Aplicação do L&GBM para fluxo de valor em 1 empresa de manufatura em grandes empresas de produção automotiva no Brasil;</p> <p>4. Teste-piloto L&GBM para uma célula em outros processos de manufatura – 3 testes piloto desenvolvidos – 1 no Reino Unido e 2 nos EUA.</p>	Fev/2011 a Nov/2011
7. Análise dos resultados	Análise do estudo e da pesquisa	<p>1. Análise dos resultados da aplicação do modelo para células, células irmãs e fluxo de valor em grandes empresas de produção automotiva no Brasil;</p> <p>2. Identificação dos ciclos de melhoria desenvolvidos ao longo da pesquisa, destacando resultados e oportunidades de melhoria em cada um deles;</p> <p>3. Análise dos resultados da aplicação do modelo para células em outros processos de manufatura.</p>	Dez/2011 a Dez/2012

A análise das principais conclusões e oportunidades de melhoria relacionadas a aplicação do L&GBM foram desenvolvidos em cinco momentos diferentes. Cada um desses momentos foi chamado ciclos de melhoria. Os objetivos do desenvolvimento destes ciclos de melhoria são:

- Análise dos resultados *kaizen* em termos de (1) redução do impacto ambiental, (2) aumento da produtividade na utilização de recursos;
- Análise dos resultados do plano de ação em termos de redução de custos;
- Confirmação dos pré-requisitos do modelo;
- Identificação de outras principais descobertas;
- Identificação de oportunidades de melhoria do modelo;

Dois métodos foram aplicados para o desenvolvimento dessas análises: (1) sessões *brainstorm* com os participantes e especialistas e (2) análise A3. *Brainstorming* é uma técnica de criatividade em grupo pelo qual um grupo tenta encontrar uma solução para um problema específico, reunindo uma lista de ideias dadas de forma espontânea pelos seus membros. *Brainstorming* foi desenvolvido e concebido por Osborn (1963) no livro *Imaginação Aplicada*. A3 é uma abordagem estruturada de solução de problemas desenvolvida pela Toyota para treinamento de engenheiros, supervisores e gerentes. O termo “A3” deriva do tamanho do papel usado para o relatório, que é a equivalente métrica para o papel 11”x17”. A Toyota efetivamente usa vários estilos de relatórios A3: para resolver problemas, para relatar o status do projeto e para propor mudanças de política. O processo A3 ajuda as pessoas a se envolver em resolução de problemas colaborativos aprofundados. Leva os solucionadores de problemas a resolver a origem dos problemas que emergem no dia-a-dia das rotinas de trabalho (HINO, 2009).

Na sequência dessas descrições, a **Tabela 13** abaixo apresenta as descrições gerais dos cinco ciclos de melhoria que estão sendo desenvolvidos para analisar o L&GBM em termos de (1) período de análise, (2) foco no L&GBM, (3) número de aplicações desenvolvidas no período e (4) método utilizado para análise de aplicação do L&GBM.

Tabela 13: Descrições gerais dos cinco ciclos de melhoria desenvolvidos para analisar o L&GBM

Análise do L&GBM Cronograma de descobertas e oportunidades de melhoria	PERÍODO DA ANÁLISE	FOCO NO MODELO LEAN & GREEN	NÚMERO DE APLICAÇÕES DESENVOLVIDAS NO PERÍODO	MÉTODOS USADOS NA REVISÃO DO MODELO LEAN & GREEN
CICLO DE MELHORIA 1 Análise da aplicação e resultados do L&GBM para uma célula com teste-piloto	De Jan/09 a Dez/10	1º nível de fluxo - CÉLULA	2 Nov/08 - Monobloco A Jun/10 – Montagem 20	Sessões de <i>brainstorm</i> e análise de resultados com várias equipes: a. Equipe Ambiental b. Equipes <i>Kaizen</i> c. Equipe de manufatura d. Equipe de Diretores do local
CICLO DE MELHORIA 2 Análise da aplicação e resultados do L&GBM para uma célula de desenvolvimento	De Jan/11 a Dez/12	1º nível de fluxo - CÉLULA	7 Fev/11 - Eixo A Mar/11 - Tripeça A Jul/11 - JF C Jul/11 - FP B Jul/11 - Gaiola A Ago/11- FP A Ago/11 - AIR A	1. Sessões de <i>brainstorm</i> com várias equipes: a. Equipe Ambiental b. Equipe de Diretores do local c. Especialistas <i>Lean</i> mundiais 2. Análise de A3 relacionado aos <i>Kaizens</i> desenvolvido em 2011 com o envolvimento dos diretores
CICLO DE MELHORIA 3 Análise da aplicação e resultados do L&GBM para células irmãs	De Set/11 a Dez/12	1º nível de fluxo – Modelo para CÉLULAS Irmãs	3 Ago/11 - Tripeça B-C Set/11 - AIR B,C,D, E Nov/11 - AIR F, G, H, I	1. Sessões de <i>brainstorm</i> sendo desenvolvidas pela Equipe Ambiental
CICLO DE MELHORIA 4 Análise da aplicação e resultados do L&GBM para um fluxo de valor	De Nov/11 a Dez/12	2º nível de fluxo - FÁBRICA	2 Nov/11 – GKN POA + GKN CHQ Nov/12 – GKN POA + GKN CHQ	1. Sessões de <i>brainstorm</i> com várias equipes: a. Equipe Ambiental b. Equipe <i>Kaizen</i> c. Equipe de Gerência d. Equipe de Diretores do local e. Especialistas <i>Lean</i> mundiais
CICLO DE MELHORIA 5 Análise da aplicação e resultados do L&GBM for uma célula em ambientes de manufatura diferentes	De Out/10 a Dez/12	1º nível de fluxo - CÉLULA Modelo para uma CÉLULA	3 Out/10 - GKN Aerospace, UK Mai/11 - Land Systems, USA Mai/11 - GKN Sinter Metals, USA	1. Análise de A3 desenvolvido pela Equipe Ambiental e Equipe de Especialistas <i>Lean</i> mundiais

4.2 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO ONDE O L&GBM FOI TESTADO

A GKN foi fundada em 1759 no sul do País de Gales, no Reino Unido. Foi uma das primeiras empresas a trazer a era industrial moderna à vida. Hoje, com mais de 250 anos, esta empresa britânica de engenharia global produz sistemas e estruturas especiais, com foco nos mercados de sistemas automotivos, metalurgia do pó, aeroespaciais e terrestres. Com operações em mais de 30 países, mais de 140 empresas de produção e mais de 40.000 funcionários em todo o mundo, com a intenção de se tornar “a melhor empresa de engenharia no mundo”, ao longo da última década a GKN também estabeleceu bases e políticas sólidas tanto nos campos *lean* como nos ambientais. Portanto, já que a GKN tem uma variedade de tipos diferentes de empresas, com produção e engenharia de diferentes produtos e componentes, e também, a nível mundial, apresenta uma boa estrutura de implantação para *lean* e meio ambiente, será a empresa global, onde o L&GBM será testado para diferentes tipos das empresas. Estes testes serão focados apenas no modelo L&GBM para uma célula e serão discutidos no capítulo 6. Além disso, os especialistas *Lean* mundiais da GKN e do departamento de saúde e segurança ambiental participaram do seminário para avaliar e revisar o L&GBM. As principais recomendações para este seminário serão apresentadas na seção seguinte.

Além disso, como discutido anteriormente, o L&GBM será parcialmente aplicado em uma empresa de manufatura global, discutindo as mudanças necessárias, barreiras e benefícios para implantá-lo considerando os diferentes tipos de processos de manufatura. A empresa de manufatura onde o L&GBM está sendo testada no mundo é a GKN Corporation.

A empresa de manufatura onde o L&GBM foi totalmente testado é GKN Driveline Operations no Brasil. De acordo com o que foi descrito nos objetivos da pesquisa no capítulo 1, a ideia é usar a GKN Driveline do Brasil como a unidade de manufatura piloto para testar o modelo em três circunstâncias distintas: (1) o L&GBM para a célula, (2) o L&GBM para células irmãs, (3) o L&GBM para um fluxo de valor.

A GKN Driveline do Brasil é uma empresa de manufatura de 66 anos idade, parte do Grupo GKN de empresas, localizada no Rio Grande do Sul, o estado no extremo sul do Brasil. Com duas instalações operacionais, uma em Porto Alegre, com foco em usinagem e montagem, e outra em Charqueadas, com foco na forjaria de precisão e usinagem, a empresa fornece semieixos para mais de 80% da indústria automotiva na América do Sul.

A GKN Driveline do Brasil é certificada pela ISO 14001 (Norma para Sistema de Gestão Ambiental) desde 2000. A empresa possui cerca de 2000 funcionários e, na última década estabeleceu bases muito sólidas em ambos os campos *lean* e ambientais, melhorando seu desempenho ambiental. Ao longo deste período, foram desenvolvidos diversos projetos e atividades de melhoria ambiental, resultando em uma melhora significativa em seus principais indicadores de desempenho ambiental. A **Tabela 14** apresenta uma breve visão geral disso.

Tabela 14: Visão ambiental da GKN Driveline do Brasil – Alguns resultados e desempenho ambiental

GKN Driveline do Brasil – Desempenho Ambiental	
Resultados de 2012 comparados aos resultados de 2000	
Taxa de melhoria de energia (%):	48%
Taxa de melhoria de água (%):	78%
Taxa de melhoria de desperdício (%):	53%
Taxas de reciclagem (%):	99%
Desempenho de Gestão Ambiental	
Número de anos com a certificação ISO 14001:	11 anos - 4 CI ciclos desde 2000
Número de projetos ambientais (Pesquisa & Desenvolvimento/técnico/MC):	Total de 96 24 projetos/ ciclo ISO 14001

A **Figura 14** apresenta o desempenho ambiental para os principais indicadores GKN do Driveline do Brasil (energia, água e resíduos por tonelada de produção e % dos resíduos que são enviados para reciclagem).

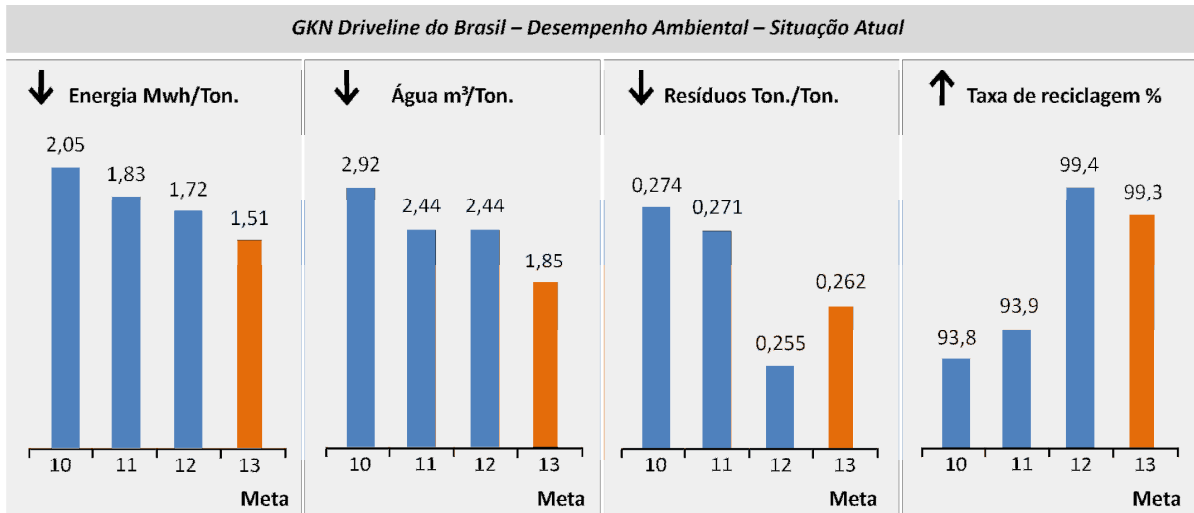


Figura 14: Desempenho ambiental da GKN Driveline do Brasil nos anos 2010, 2011 e 2012 e meta para 2013
 Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A GKN Driveline do Brasil é uma unidade fundamental para o negócio da GKN em todo o mundo. É uma das maiores instalações de GKN em termos de terreno e número de funcionários. É também uma participante importante para o negócio de sistema de transmissão na América do Sul, utilizando não apenas tecnologia de ponta em todo o mundo para transmissões automotivas, mas também com uma posição de mercado importante, com mais de 80% de quota de mercado (GKN ao redor do mundo tem em torno de 40% da quota de mercado do sistema de transmissão).

A GKN Driveline do Brasil iniciou sua jornada ambiental como um verdadeiro SGA (sistema de gestão ambiental), em 2000, com a certificação ISO 14001. Desde então, o desempenho ambiental da empresa foi melhorado de maneira significativa, uma equipe de especialistas em meio ambiente foi formada na empresa e mais de 90 projetos de pesquisa foram desenvolvidos com foco ambiental.

A GKN Driveline do Brasil iniciou sua jornada *lean* em 2004. Desde então, todos os funcionários, em todos os níveis (dos executivos de alto escalão aos operadores) têm sido treinados e envolvidos em atividades *lean* e de melhoria, tanto nas fábricas como nos escritórios. Hoje, as ferramentas, estratégias e pensamento *lean* são o coração da cultura da GKN Driveline do Brasil. Mais de 500 *kaizens* foram desenvolvidos até agora, reuniões diárias, PVDs (displays visuais primários), habilitadores (5S, gestão visual, trabalho padronizado, etc.) fazem parte do dia a dia de todos na organização. A3 é o método de análise de problemas e implantação de estratégias de negócio.

Portanto, a partir de perspectivas *lean* e ambiental, a GKN Driveline do Brasil é considerada um centro de excelência nos dois campos, premiada mundialmente mais de 20 vezes na última década como referência por seu desempenho operacional e sustentável. Com bom desempenho ambiental, com mais de 99% dos resíduos sendo reciclados, certificado ISO 14001 desde 2000, desenvolvimento de diversos projetos técnicos ambientais e também bom nível de implantação *lean*, apresentando uma implantação média a nível avançado na aplicação de facilitadores GKN *lean* para o seu negócio, a GKN Driveline do Brasil estava pronta para um próximo passo na sua jornada de melhoria contínua, verificando o caso de ser uma unidade-piloto para a aplicação e teste do L&GBM. O Capítulo 6 discutirá o processo de implementação e apresentará alguns resultados da aplicação do L&GBM na GKN Driveline do Brasil.

4.3 DESCRIÇÃO DO SEMINÁRIO

O modelo L&GBM foi apresentado aos especialistas ambientais da GKN global para avaliação. Os especialistas ambientais da GKN global formam um grupo fechado de 30 executivos ambientais do mundo todo com reconhecido conhecimento ambiental de todas as divisões da GKN (transmissões, aeroespacial, sistemas fora de estrada e metalurgia do pó) e de todas as regiões onde a GKN atua (Américas, Europa e Ásia-Pacífico).

A análise do L&GBM desenvolvido pelos especialistas ambientais da GKN global foi discutida em duas reuniões mundiais de especialistas ambientais da GKN em 2010, a primeira em março de 2010 em Monitor, EUA, e a segunda em outubro de 2010, em Lohmar, Alemanha. Os principais objetivos desses seminários foram (1) identificar, juntamente com os especialistas, os benefícios percebidos da implementação da iniciativa *Lean & Green* na GKN e (2) identificar os principais obstáculos à implantação deste conceito.

Na primeira reunião, a fim de oferecer ao especialista algumas informações sobre o tema, um breve resumo (com base na literatura) das principais ideias sobre o conceito *Lean & Green* foi apresentado. A atividade de *brainstorm* que se seguiu foi desenvolvida para capturar as principais ideias levantadas pelos participantes. *Brainstorming* é uma técnica de criatividade em grupo pelo qual um grupo tenta encontrar uma solução para um problema específico, reunindo uma lista de ideias dadas de forma espontânea pelos seus membros. Para desenvolver esta análise, cada membro recebeu seis *post-its*, três para descrever os

benefícios percebidos do *Lean & Green* e mais três para descrever os principais obstáculos. Após o *brainstorming* individual, estes *post-its* formaram uma matriz representando as ideias dos especialistas para a implantação *Lean & Green* na GKN. As ideias foram agrupadas seguindo os vetores de sustentabilidade, como (1) informações para o planeta, (2) informações para as pessoas e as informações para o lucro.

Na segunda reunião foram apresentados os resultados preliminares do L&GBM para uma célula desenvolvida em Monobloco A e Célula de Montagem 20 (que são apresentados integralmente no capítulo 6), bem como resultados da atividade de *brainstorm*. O objetivo da segunda reunião foi revisar juntamente com os especialistas os resultados de *brainstorming* e confirmar com todos eles se concordavam com os resultados finais. Os resultados serão apresentados no Capítulo 6.

4.4 OBSERVAÇÕES GERAIS DOS ACADÊMICOS PARA O L&GBM

Da mesma forma que os especialistas ambientais da GKN global revisaram e analisaram o L&GBM a fim de identificar os benefícios e obstáculos para a implementação do modelo, um processo semelhante foi desenvolvido pelos acadêmicos. Este processo de apresentar o projeto e o modelo L&GBM para uma revisão acadêmica foi desenvolvido diversas vezes ao longo de três anos de elaboração do projeto de doutorado. Destacados nesta sessão estão os três momentos chave da revisão acadêmica que aconteceu logo após a consolidação do teste-piloto e que foi fundamental para o design do L&GBM. Esses momentos foram:

- (1) Observações da POMS (*Production and Operations Management Society* - Sociedade de Produção e Gestão de Operações) após apresentar o teste-piloto e modelo na 21ª Conferência Anual da POMS, 2011, Reno, EUA. Os acadêmicos estavam representados por especialistas *lean*, professores e espectadores que discutiram o trabalho sendo apresentado em uma sessão da conferência (PAMPANELLI et al., 2011a);
- (2) Observações dos especialistas ambientais após apresentar do teste-piloto no IV Seminário Internacional de Produção mais Limpa, 2011, POA, Brasil; Os acadêmicos estavam representados por especialistas ambientais e professores que avaliaram o pôster apresentado na conferência (PAMPANELLI et al., 2011b);

(3) Observações dos especialistas *lean* após apresentar do teste-piloto e o modelo na LERC Annual Conference 2011. Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK, 2011, incluindo feedback do Professor Robert Hall (Doc Hal), autor do livro *Compression* (HALL, 2010) sobre L&GBM. Os acadêmicos estavam representados por especialistas *lean*, professores e espectadores que discutiram o trabalho sendo apresentado em uma sessão da conferência (PAMPANELLI, 2011a; PAMPANELLI, 2011b).

Os resultados da análise dos acadêmicos a respeito do modelo L&GBM e sua implicação serão apresentados no Capítulo 7.

CAPÍTULO 5: MODELO DE NEGÓCIO *LEAN & GREEN*

Como discutido anteriormente, na ciência, pensadores de sistemas consideram que um sistema é um conjunto de partes inter-relacionadas que funcionam como um todo para alcançar um objetivo comum, um todo dinâmico e complexo, interagindo como uma unidade funcional estruturada. Portanto, os subsistemas são interdependentes, o que significa que uma alteração em uma parte afeta outras partes e o todo, e sinérgica, o todo é maior do que a soma das suas partes. Os corpos individuais de literatura são subsistemas que compõem o L&GBM, os quais são interligados, interdependentes e sinérgicos. O seu entendimento individual é a base para compor o L&GBM, a unidade funcional estruturada desta pesquisa.

Assim, o capítulo 2 examinou as principais características, dimensões, blocos de construção básicos e as ferramentas mais importantes para os quatro corpos de literatura principais que formam este estudo: (1) gestão de operações, (2) pensamento *lean*, (4) sustentabilidade e (4) pensamento *green*. Este entendimento é crucial para a construção e criação de um novo modelo. O capítulo 3 propôs uma análise das lacunas e interações dos blocos individuais da literatura que formam este trabalho para estabelecer a base para o L&GBM, que incluem (1) análise do *lean & green* sob uma perspectiva de operações, (2) análise do *lean & green* sob uma perspectiva de sustentabilidade, (3) análise do *green* sob uma perspectiva *lean* e (4) análise do *lean* sob uma perspectiva *green*. A análise da literatura destaca as seguintes conclusões, as quais são de fundamental importância para o design do modelo L&GBM:

1. Ser *lean* ou *green* é uma decisão estratégica da empresa.
2. Ter uma abordagem de manufatura *lean* exige maior nível de integração com os processos de manufatura do que a abordagem de manufatura *green*. Práticas *green* que querem ter sucesso em termos de melhoria de produção devem considerar um maior nível de integração com os métodos de trabalho de manufatura e variáveis.
3. Não há prática ambiental que considera certo nível de estabilidade de produção, integração ou implantação *lean*, como pré-requisito antes de ser implementado.
4. No geral, as práticas *green* têm basicamente dois objetivos principais (i) a melhoria da utilização dos recursos naturais e (ii) a redução do impacto ambiental.

5. A maioria das práticas *green*/de sustentabilidade não contribuem plenamente para as três dimensões da sustentabilidade. A prática *lean* pura contribui para duas dimensões da sustentabilidade (i) lucro e (ii) pessoas.
6. A prática *lean* ajuda a empresa a se tornar *green*, mesmo que não haja nenhuma intenção direta de reduzir o impacto ambiental. A adoção da manufatura *lean* por uma empresa pode ser o primeiro passo para se tornar *green*.
7. Existem ligações intrínsecas entre práticas *lean* e ambientais. Estudos colocam à prova a sinergia entre fundamentos *lean* durante aplicação de práticas *green*. Ferramentas e fundamentos *lean* são bem sucedidos quando usados para promover melhorias ambientais.
8. A completa integração das práticas *lean & green* e dos objetivos fundamentais devem beneficiar as empresas.
9. Existem algumas práticas ou modelos (EPA, 2006) que identificam e medem aspectos e impactos ambientais com base em fluxos de valor de produção.
10. A integração das práticas *lean & green* pode introduzir uma nova dimensão ao modelo tradicional de pensamento *lean*.

O capítulo 4 traz o método de pesquisa usado para desenvolver o L&GBM. Como descrito anteriormente, o projeto de pesquisa para este trabalho está classificado como pesquisa-ação.

Este capítulo é dedicado a explicar o design e características fundamentais do Modelo de Negócio *Lean & Green* (L&GBM), um modelo que busca traduzir a linguagem do meio ambiente para o mundo da manufatura, aplicando pensamento *lean* para resolver os problemas ambientais. Assim, este capítulo é dedicado a explicar o objetivo, os princípios e o método de trabalho do L&GBM, assim como explicar por que ele é diferente do modelo *lean* puro e *green* puro.

5.1 O OBJETIVO DO L&GBM

Embora, de acordo com Bicheno (2000), o objetivo geral do pensamento *lean* possa ser descrito em quatro dimensões principais (1) S-Segurança, (2) Q-Qualidade (3), E-Entrega e (4) C-Custo, Lozano (2008), em seu artigo “*Envisioning sustainability three-dimensionally*”, revê o conceito de sustentabilidade ambiental estabelecida por diversos autores e afirma que

o pensamento *green* pode ser referido como *“o uso dos recursos naturais sem ultrapassar a capacidade de produção deste no ambiente natural bem como a produção de poluentes sem ultrapassar os limites de biodegradação deste no sistema natural que os recebe”*. Portanto, o objetivo geral do pensamento ambiental pode ser descrito em uma dimensão (Meio Ambiente), com dois focos principais: (1) produzir com a máxima produtividade no uso dos recursos naturais e com (2) o mínimo impacto ambiental.

A ideia do modelo L&GBM é utilizar o pensamento *lean* para solucionar problemas ambientais, acrescentando mais uma dimensão ao pensamento *lean* tradicional, o Meio Ambiente. Neste contexto, os principais objetivos do modelo são baseadas nos blocos de construção fundamentais de práticas ambientais sustentáveis: (1) melhorar a produtividade dos recursos nos processos de manufatura, otimizando seu desempenho de fluxos de apoio (consumo de energia e materiais e geração de resíduos) e (2) reduzir o impacto ambiental nos processos de manufatura, reduzindo todos os resíduos ambientais gerados pela produção. Nessa linha, o objetivo geral do modelo pode ser descrito como: *“Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atrasos), pelo preço justo, mínimo desperdício e impacto ambiental e com a máxima produtividade no uso de recursos naturais”*. Significa que o pensamento *lean & green* será descrito em cinco dimensões: (1) Segurança, (2) Qualidade, (3) Entrega, (4) Custo, (5) Meio Ambiente, como descrito na **Figura 15**.

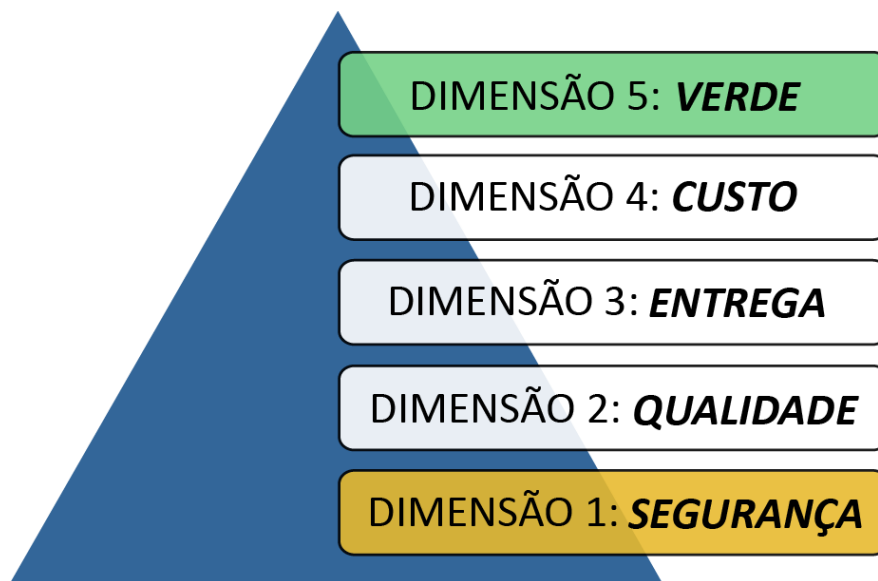


Figura 15: As cinco dimensões do L&GBM
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Hajmohammad et al. (2013), em um estudo que compara as práticas *lean* e *green*, concluiu que as práticas ambientais têm papel crucial para se chegar a um melhor desempenho ambiental. Nesse contexto, faz todo o sentido que, a fim de estar alinhado aos princípios da sustentabilidade, o L&GBM considera que o pensamento *lean* está adaptado para lidar com os blocos de construção fundamentais de práticas ambientais sustentáveis : (1) Melhorar a produtividade dos recursos nos processos de manufatura, e (2) reduzir impacto ambiental nos processos de manufatura. Desde que o L&GBM estará integrando as características centrais do pensamento *lean & green*, o novo modelo será capaz de suportar a três dimensões da sustentabilidade: (1) Lucro (2) Pessoas e (3) Planeta.

A **Figura 16** mostra a posição do L&GBM ao compará-lo com os pensamentos *lean* puro e sustentável puro, como ele se integra nos vetores de sustentabilidade a fim de conduzir à *Compression* que basicamente implora por equidade e por um novo pensamento econômico.

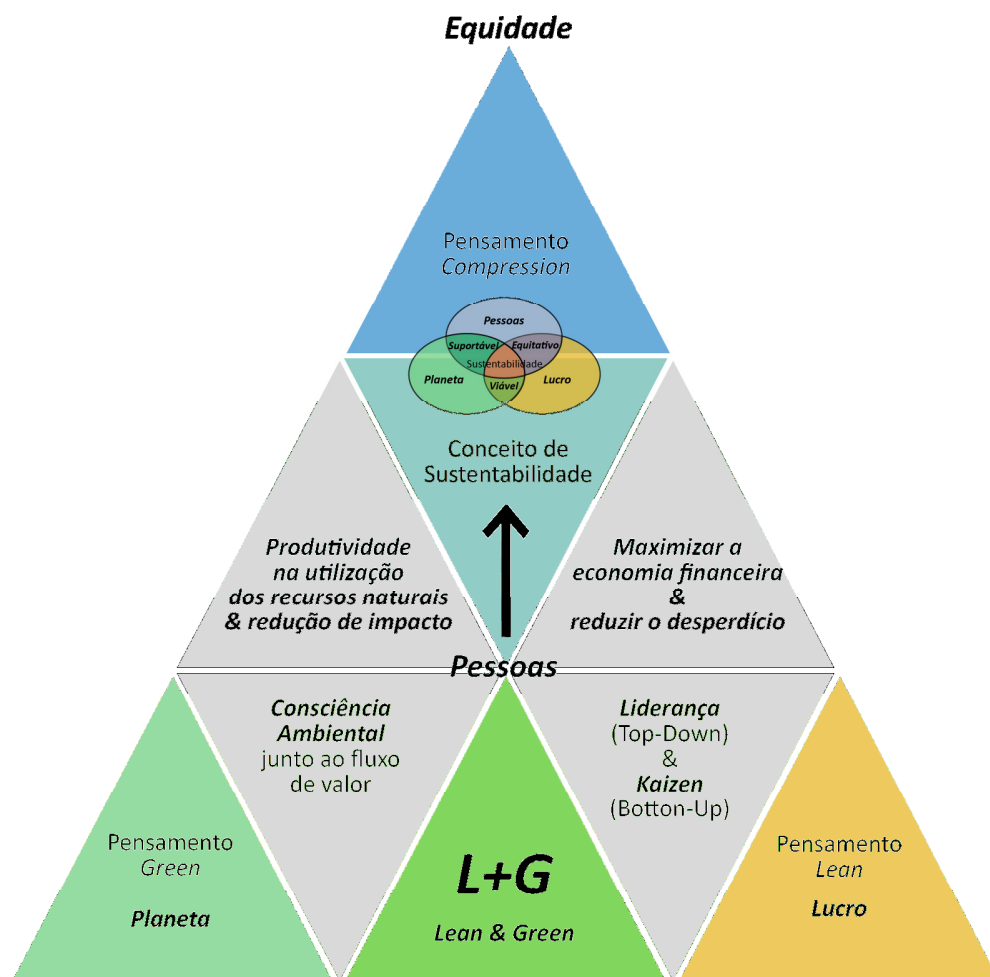


Figura 16: Posicionamento do L&GBM

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O L&GBM é um modelo que pretende motivar uma transição conceitual, em um processo de aprendizagem que integra diferentes peças do conhecimento. Conceitos anteriores, tais como pensamento *lean* puro e pensamento *green*, são a base. Enquanto integra tais conceitos, o L&GBM propõe a criação de um novo modelo onde (1) a produtividade na utilização dos recursos naturais, (2) a redução de impacto, (3) a consciência ambiental, (4) economia financeira, (5) envolvimento das pessoas e (6) liderança, originalmente derivadas de diferentes fontes, estão agora conectadas como blocos fundamentais de uma nova maneira de pensar. À medida que o tempo passa, o L&GBM procura não só a integração social, ambiental e financeira, mas também o valor justo, a importância e a prioridade para todos os seus vetores, promovendo a conectividade dentro e fora do sistema.

5.2 OS PRINCÍPIOS DO MODELO L&GBM

Em termos gerais, os modelos de pensamento *green*, tais como Ecologia Industrial (NIELSEN, 2007; TIBBS, 1992), de Simbiose Industrial (BOONS et al., 2011), Eco eficiência (KORHONE, 2007), Tripé de Sustentabilidade (LENZEN, 2008), Capitalismo Natural (ROBERT, 2002a; HAWKEN et al., 1999), *The Natural Step* (ROBERT, 2002b), pode ser generalizada por quatro princípios fundamentais comuns:

- (1) Identificar aspectos e impactos ambientais;
- (2) Medir impacto ambiental e utilização dos recursos naturais;
- (3) Identificar alternativas para (i) redução de impacto e (ii) produtividade de recursos;
- (4) Melhoria contínua.

Womack e Jones (1998) oferecem cinco princípios-chave para definir e descrever o pensamento *lean*:

- (1) Valor específico: define com precisão o valor sob a perspectiva do cliente final, em termos de produto específico, com recursos específicos oferecidos em um momento específico;
- (2) Identificar fluxos de valor: identifica todo o fluxo de valor para cada produto ou família de produto e elimina o desperdício;
- (3) Fazer fluxo de valor: faz o valor restante criando fluxos de etapa;

(4) Deixar o cliente puxar o valor: projeta e fornece o que o cliente quer apenas quando o cliente quer;

(5) Buscar a perfeição: faz um esforço para alcançar a perfeição através da remoção contínua de camadas sucessivas de desperdício na medida em que elas são expostas.

Para operacionalizar os princípios do pensamento *lean*, a identificação dos fluxos de valor é fundamental, para fazer o fluxo de valor no foco do cliente. Em empresas *lean*, os processos de manufatura são organizados em níveis de fluxo (HOPP e SPERMANN, 2008), onde:

(1) o primeiro nível é o nível da célula, o nível mais baixo de produção em uma empresa de manufatura organizada seguindo os princípios *lean*, formado por um número finito de operações/máquinas que incluem parte do fluxo de valor total orientado para produzir uma parte específica de um produto final pedido pelo cliente;

(2) O segundo nível é o nível da fábrica, nível de fluxo de valor, formado por várias células que são parte do mesmo fluxo de valor; visto que fluxos de valor são orientados por famílias de produtos do cliente, uma fábrica pode possuir mais de um fluxo de valor; fluxos de valor existem dentro da fábrica alinhado às famílias de produto/processo;

(3) O terceiro nível é o nível de fluxo de valor estendido, formado por várias instalações (fornecedor externo através de cliente) que fazem parte do mesmo fluxo de valor.

A **Figura 17** traz uma estrutura visual dos três níveis de fluxo com base em ideias do pensamento *lean*.

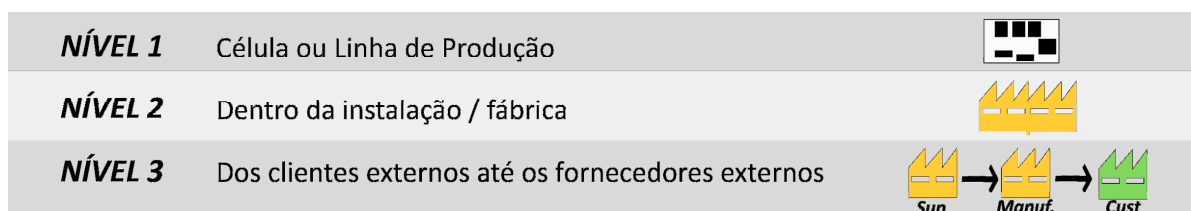


Figura 17: Os três níveis de fluxo de manufatura baseado em organizações do pensamento *lean*
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Os padrões de liderança, metodologia e execução, destinados a melhorar o desempenho de fluxo de valor em uma organização que aplica pensamento *lean* como uma

estratégia para aumentar o desempenho de produção, são utilizados no L&GBM. A diferença é que, em vez de se concentrar no fluxo de produto (que é o principal objetivo para melhoraria do desempenho de manufatura), o foco aqui é otimizar o uso do fluxo de valor que dão suporte a produção (fluxos de massa e energia). A **Figura 18** apresenta a ideia geral da análise de massa e fluxo de energia aplicada pelo L&GBM.

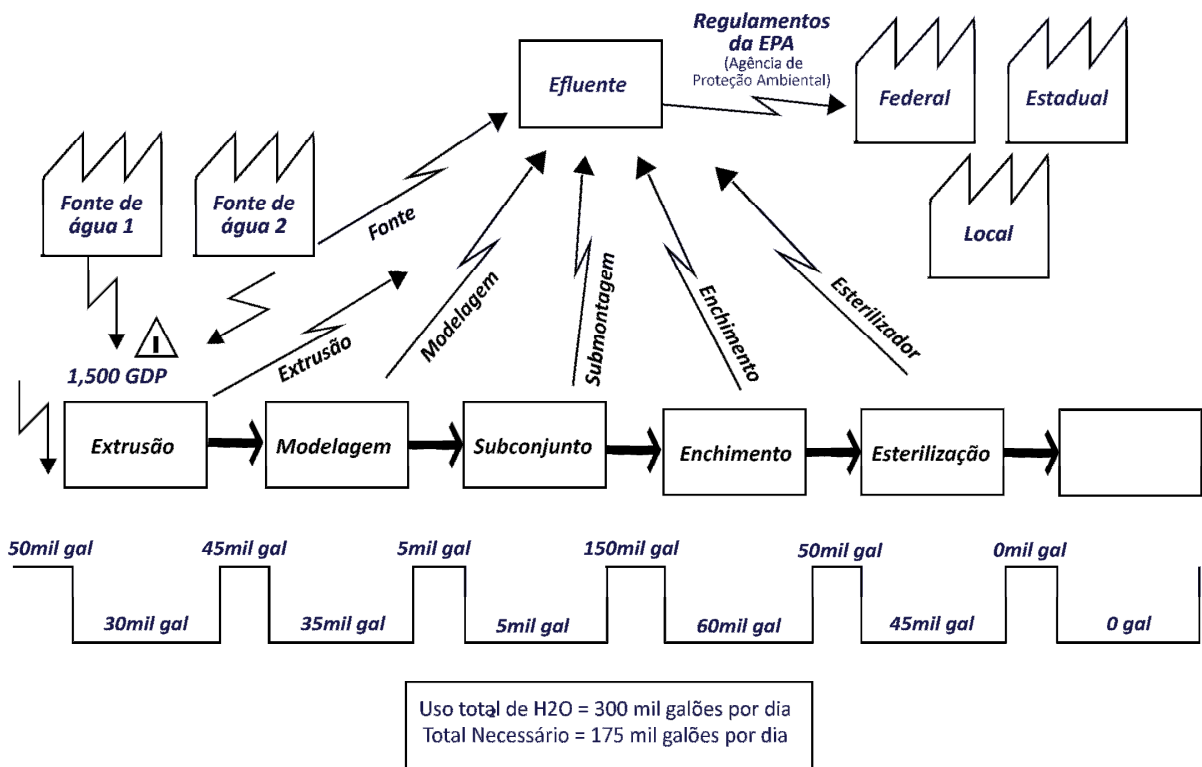


Figura 18: Exemplo da análise de fluxo de massa e energia aplicada pelo modelo *Lean & Green*
Fonte: EPA, 2006

Nessa linha, o L&GBM pode ser descrito pelos cinco princípios-chave:

- **Identificação de um fluxo de valor estável (FV):** identificar um fluxo de valor estável (níveis 1,2 ou 3). Um fluxo de valor estável é um fluxo de valor competente nas principais dimensões do pensamento *lean*: (1) segurança, (2) qualidade, (3) entrega e (4) custo;
- **Identificação do impacto ambiental (IA):** identificar no fluxo de valor escolhido os seus respectivos aspectos e impactos ambientais;
- **Medida dos fluxos de valores ambientais (FVA):** medir impactos ambientais do fluxo de valor que suportam a produção (fluxos de massa e energia do processo produtivo);

- **Melhoria dos fluxos de valores ambientais (FVA):** identificar alternativas para (1) redução de impacto e (2) produtividade de recursos dentro do fluxo de suporte a produção;
- **Melhoria Contínua (MC):** definir alternativas para melhorar os fluxos de massa e energia.

Considerando o que foi apresentado, a **Figura 19** apresenta a ideia geral dos princípios do L&GBM.

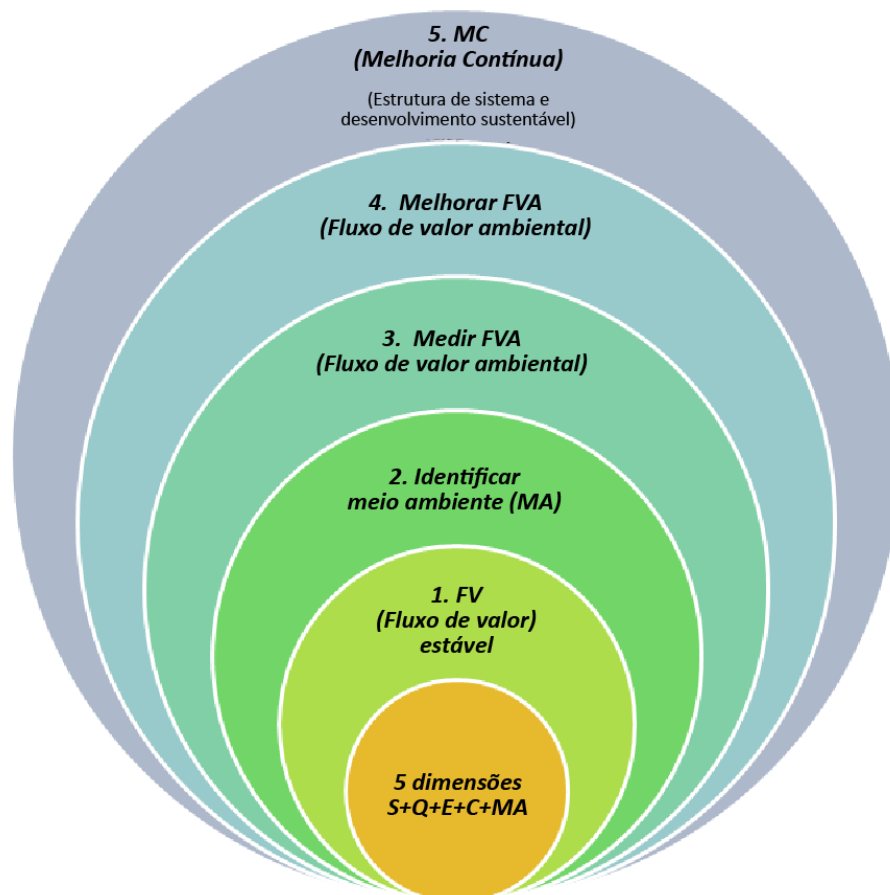


Figura 19: Os princípios do L&GBM
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

5.3 AS FORMAS DE TRABALHO DO L&GBM

Desde que a ideia do L&GBM é usar a filosofia do pensamento *lean* para solucionar problemas ambientais, os principais objetivos do modelo estão baseadas nos blocos de construção fundamentais das práticas de pensamento *green*. Nesse contexto, os dois principais objetivos L&GBM são: (1) a melhoria da produtividade dos recursos de processos

de manufatura, otimizando seu desempenho fluxos de suporte à produção (consumo de energia e materiais e geração de resíduos) e (2) a redução de impacto ambiental de processos de manufatura, reduzindo todos os resíduos ambientais gerados pela produção.

Portanto, os objetos de estudo do L&GBM são os fluxos de massa-energia dos processos de manufatura e o resultado esperado para a aplicação do modelo é a conquista de melhorias nesses fluxos termodinâmicos (Materiais, Produtos químicos, Água, Resíduos, Efluentes e Energia), contribuindo para a melhoria do desempenho total. Há muitas economias de custos possíveis associadas à redução do impacto ambiental de uma empresa, como por exemplo, reduzindo o consumo de substâncias químicas nocivas e energia causarão impacto direto nas despesas gerais, assim como na redução de risco para os funcionários e para a área adjacente.

Neste sentido, a ideia básica e mais importante do L&GBM é considerar que as abordagens *lean & green* serão integradas como parte do processo de melhoria contínua de um processo de manufatura, onde a filosofia *lean* e formas de trabalho já estavam em vigor. Seguindo este raciocínio, os objetos de estudo do L&GBM são os fluxos de massa-energia dos processos de manufatura e o resultado esperado para a aplicação do modelo é a conquista de melhorias nesses fluxos termodinâmicos (Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluentes, energia), contribuindo para a melhoria do desempenho total.

Um bloco de construção fundamental do pensamento *lean* é a melhoria contínua, *Kaizen*, com seu foco na solução de problemas e envolvimento dos funcionários, que se encaixa perfeitamente com a noção de criação de uma indústria mais sustentável. O L&GBM estará usando a abordagem *Kaizen* para tratar e melhorar os fluxos ambientais de massa e energia de uma célula de manufatura e do fluxo de valor. A diferença é que, em vez de se concentrar no fluxo de produto (que é o principal objetivo na melhoria do desempenho de manufatura), o foco aqui é otimizar os fluxos de apoio a produção (fluxos de massa e energia).

5.4 POR QUE O L&GBM É DIFERENTE DO PENSAMENTO LEAN & GREEN PURO?

Seguindo a descrição do L&GBM desenvolvido nas seções 5.1, 5.2 e 5.3, a **Tabela 15** destaca as diferenças fundamentais do L&GBM comparado ao pensamento *lean* puro e

pensamento *green* puro em termos de objetivos, princípios e formas de trabalho para lidar com os vetores de sustentabilidade (Pessoas, Lucro e Planeta).

Tabela 15: Tabela comparando o L&GBN com os pensamentos *lean* puro e *green* puro

	GREEN Pensamento de Sustentabilidade Ambiental	LEAN Pensamento <i>Lean</i>	L&GBM
Objetivo geral	<p>“O uso dos recursos naturais sem ultrapassar a capacidade de produção deste no ambiente natural bem como a produção de poluentes sem ultrapassar os limites de biodegradação deste no sistema natural que os recebe”</p> <p>(LOZANO, 2008)</p>	<p>“Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício”</p> <p>(BICHENO, 2000)</p>	<p>“Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atrasos), pelo preço justo e mínimo desperdício e impacto ambiental e máxima produtividade no uso dos recursos naturais”</p>
Princípios Básicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar aspectos e impactos ambientais 2. Medir impacto ambiental e o uso dos recursos naturais 3. Identificar alternativas para (i) redução de impacto e (ii) produtividade de recursos 4. Melhoria contínua 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar valor 2. Identificar fluxos de valor 3. Fazer fluxo de valor fluir 4. Deixar o cliente puxar o valor 5. Buscar a perfeição (WOMACK e JONES, 1998) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar um fluxo de valor estável (níveis 1,2 ou 3) 2. Identificar em um fluxo de valor escolhido os aspectos e impactos ambientais 3. Medir impactos ambientais do fluxo de valor 4. Identificar alternativas para (i) redução de impacto e (ii) produtividade de recursos dentro do fluxo de valor 5. Buscar a perfeição – Melhoria contínua
PESSOAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consciência ambiental em todos os níveis da organização 2. Alto nível de competência técnica para as pessoas responsáveis por impactos ambientais 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Liderança (<i>Top-Down</i>) 2. <i>Kaizen</i> (<i>Bottom-Up</i>) <p>Envolvimento das pessoas na cultura de solução de problemas</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Liderança (<i>Top-Down</i>) 2. <i>Kaizen</i> (<i>Bottom-Up</i>) 3. Consciência ambiental junto ao fluxo de valor
LUCRO	Equidade (Econômica / Ambiental)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximizar economia financeira (receita) 2. Reduzir desperdício 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximizar economia financeira (receita) 2. Reduzir resíduos (para todas as fontes de fluxo de resíduos) 3. Equidade (Econômica / Ambiental)
PLANETA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Produtividade no uso dos recursos naturais (massa e energia) 2. Redução de impacto ambiental (3R's) 	Nenhum	<ol style="list-style-type: none"> 1. Produtividade no uso dos recursos naturais (massa e energia) 2. Redução de impacto ambiental (3R's)

Considerando o que foi apresentado na **Tabela 15**, o L&GBM é diferente do pensamento *green* puro devido a:

- **L&GBM prioriza o foco no cliente:** para ser L&GBM, é preciso ser *lean* primeiro; por isso, um pré-requisito de nível de implantação em *lean* é a chave para *Lean & Green*;
- **L&GBM identifica e mede aspectos e impactos ambientais com base nos fluxos de valor:** pensamento sustentável tradicional não tem o foco nas formas de trabalho da manufatura para fazer isso;
- **L&GBM tem seu foco em uma abordagem *top-down* e *bottom-up*:** para a implantação de melhorias ambientais contínuas;
- **L&GBM prioriza maximização de valor e redução de custos:** possui uma abordagem ambiental, priorizando economia financeira e redução de resíduos também.

Considerando o que foi apresentado na **Tabela 15**, o L&GBM é diferente do pensamento *lean* puro devido a:

- **L&GBM introduz pensamento *lean* tradicional uma nova dimensão – o aspecto da preocupação com o meio ambiente:** o pensamento *lean* tradicional tem o seu foco em quatro dimensões: segurança, qualidade, entrega e custo. O modelo L&GBM introduz a preocupação com o meio ambiente, exigindo (i) diminuição do uso dos recursos, (ii) redução do impacto ambiental e (iii) a necessidade de consciência ambiental ao longo do fluxo de valor;
- **L&GBM tem seu foco em outras fontes de economia: o pensamento *lean* tradicional considera apenas a redução dos sete desperdícios clássicos.** Com a introdução da variável da preocupação com o meio ambiente ao longo do fluxo de valor, outras fontes de desperdício podem ser focalizadas e reduzidas, aumentando a economia total.

Na verdade, a ideia geral do L&GBM engloba os mesmos princípios do pensamento *lean* que estão definidos na *house of lean*, onde a estabilidade é a base. *Kaizen* é um dos principais pilares, com o objetivo final de melhorar o desempenho, que neste caso é baseado em quatro dimensões: (1) S-Segurança (2), Q-Qualidade (3), E-entrega e (4) C-Custo. A diferença aqui é que mais de uma dimensão, (MA) Meio Ambiente será adicionada ao modelo existente. A **Figura 20** apresenta a ideia.

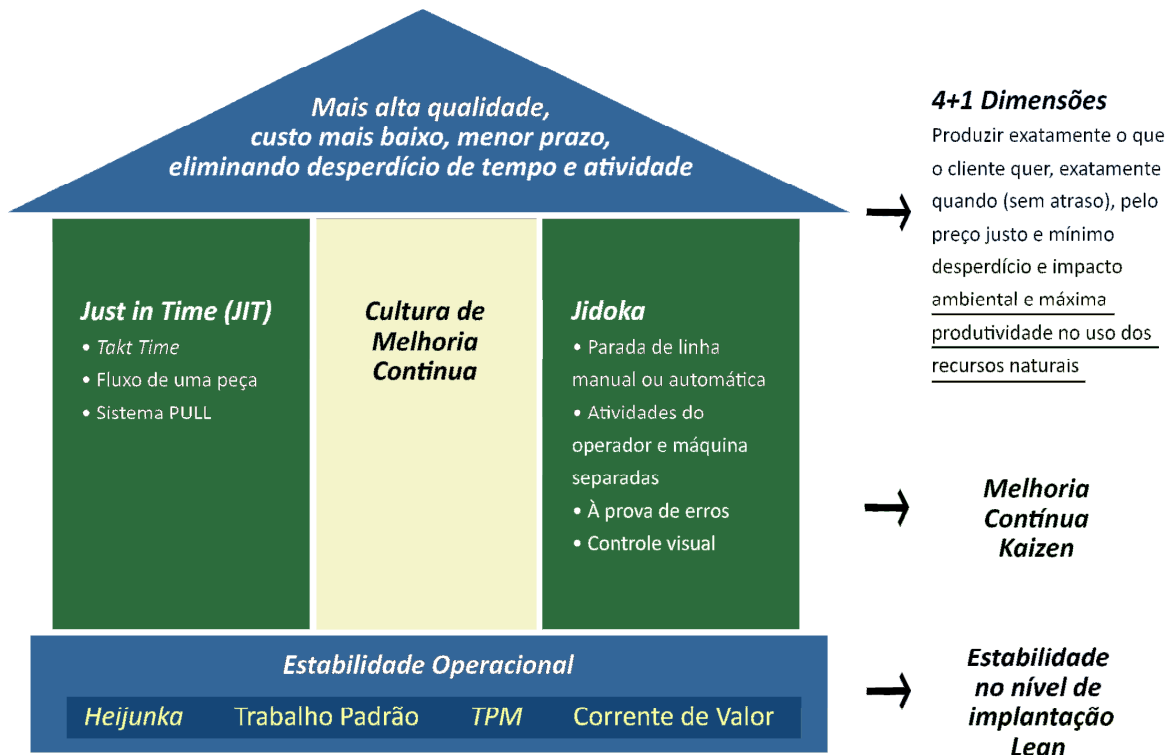


Figura 20: House of lean e L&GBM

Fonte: Adaptado por Rich et al., 2006 em *Understanding the lean journey*

Na verdade, Rich et al. (2006) discutem as fases de melhoria *lean*, do caos ao controle à vantagem competitiva, estabelecendo as etapas naturais a serem seguidas por um processo de manufatura ao implementar os princípios *lean* durante um período de tempo. Ao concentrar-se primeiro sobre os processos de estabilização, onde a disciplina básica, a segurança e o moral são abordados e seguidos por melhorias na qualidade, desempenho de entrega e flexibilidade do processo, os custos são reduzidos de maneira natural, criando oportunidades para nova redução de custos que são efetuadas nas fases posteriores:

Estabilidade do processo (Segurança + Qualidade + Entrega + Flexibilidade) → Redução de Custo

Talvez essa lógica não leve em consideração as outras fontes de custos que fazem parte do processo de manufatura, os resíduos ambientais (consumo de materiais e de energia e geração de resíduos) e que não são considerados no modelo original de Rich. Por isso, o L&GBM é construído com base no modelo de Rich, acrescentando uma variável extra para ele:

**Estabilidade do processo (Segurança + Qualidade + Entrega + Flexibilidade) + Meio Ambiente →
Redução de Custo**

5.5 L&GBM PARA UMA CÉLULA

A célula é o nível de produção mais baixo em uma empresa de manufatura organizado pelos princípios *lean*, e é composta de um número finito de operações ou máquinas (HOPP e SPEARMAN, 2008). O principal objetivo de desenvolver o L&GBM no nível da célula é melhorar o desempenho dos fluxos de apoio (ou seja, consumo de materiais e de energia e geração de resíduos) e reduzir todos os resíduos e os impactos (PAMPANELLI et al., 2011a). Os objetos deste estudo são os fluxos de massa-energia da célula, que são avaliados de acordo com a operação. O resultado esperado é o grau de melhoria desses fluxos. A **Figura 21** ilustra a estrutura do estudo.

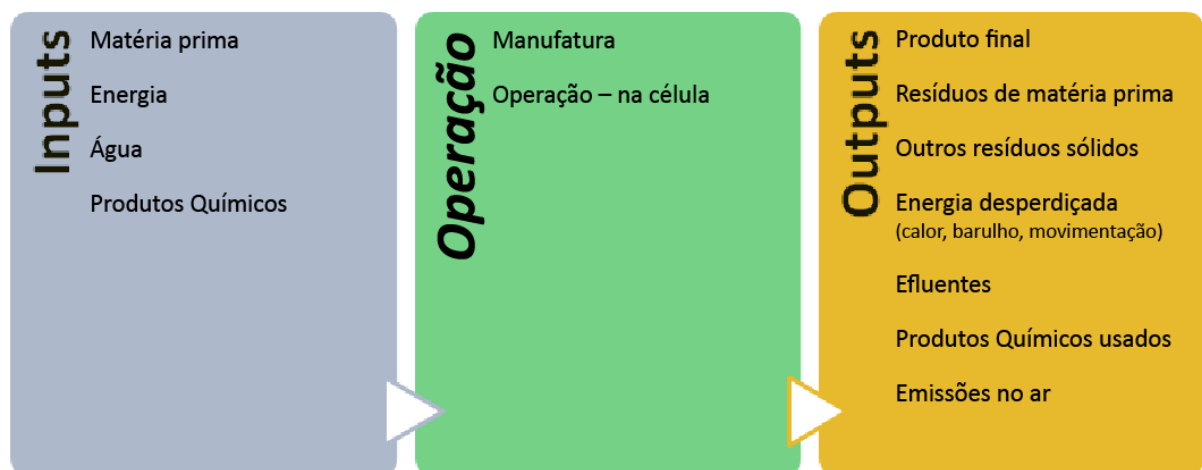


Figura 21: Análise do fluxo de massa e energia usando o modelo *Lean & Green* no nível da célula e avaliados de acordo com operações
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A ideia básica e mais importante por trás do L&GBM é que as abordagens *lean & green* podem ser integradas como parte de um processo de melhoria contínua em uma célula onde a manufatura *lean* já está em vigor. Portanto, os principais pré-requisitos para uma célula ser uma candidata ao modelo L&GBM são os seguintes:

1. Um processo estável, com registros de entrega de mais de 90%;
2. Um nível de implantação desenvolvido na utilização e aplicação de ferramentas *lean* (ou seja, operadores já conhecem e aplicam as ferramentas *lean* mais comuns, tais como 5S, Gestão Visual, Manutenção Autônoma e Análise de Tempo Perdido);

3. Sistemas de Envolvimento dos funcionários (EF) estão em vigor (operadores já conhecem e aplicam as ferramentas EF mais comuns, tais como Reuniões Diárias, display visual primário, etc.);
4. Uma equipe de gestão que apoie a iniciativa (ou seja, um gestor de célula bem como um gestor sênior e gestor do quadro intermediário) apoiam a iniciativa *lean & green*;
5. Bom nível de consciência ambiental (ou seja, operadores já foram treinados para compreender as questões e as preocupações relacionadas com o ambiente);
6. Uso significativo dos recursos naturais pela célula (ou seja, materiais, produtos químicos, água e energia);
7. Estrutura em vigor para coleta de dados ambientais.

Com base no pensamento *lean*, o L&GBM envolve cinco fases, apresentadas na

Figura 22.

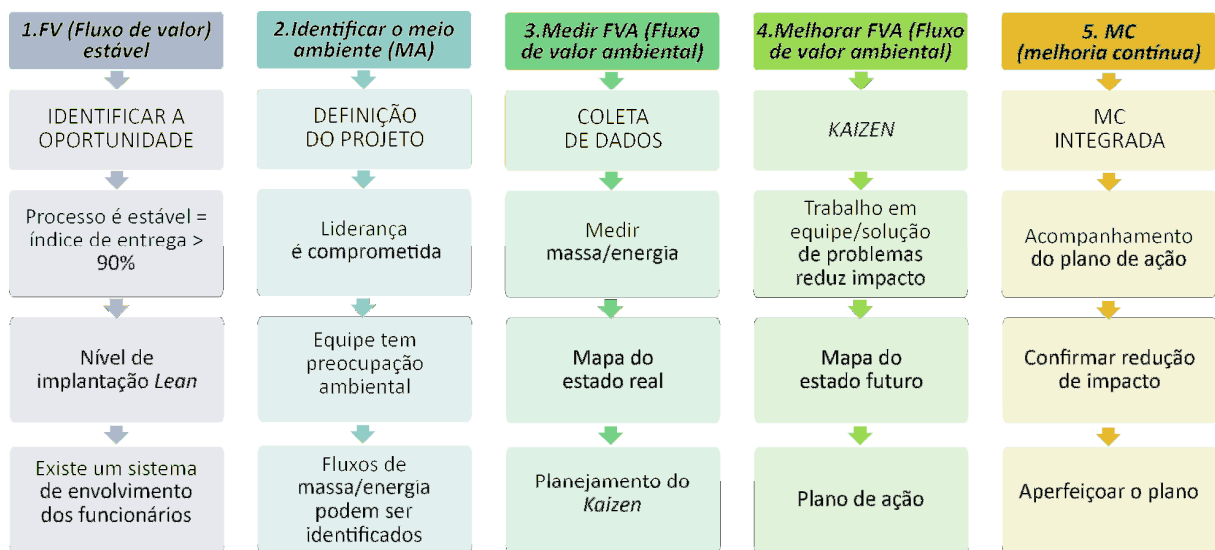


Figura 22: O Modelo de cinco etapas *Lean & Green* para melhorar o desempenho dos fluxos de apoio em uma célula de produção

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O objetivo geral de cada fase é descrito abaixo:

- Fase 1 – Fluxo de valor estável (FV): Identificar a necessidade de melhoria. Identificar uma célula operacional que representa uma utilização significativa de recursos, possui uma boa implantação de ferramentas *lean* e tem um fluxo de produção estável que justifique a aplicação do modelo *Lean & Green*.

- Fase 2 – Identificar aspectos e impactos ambientais (A): Definir o escopo de melhoria de processos, identificando os aspectos e impactos ambientais do fluxo de valor (neste caso, a célula). Definições de aspecto e impacto são consideradas conforme a ISO 14001:2004. Um aspecto ambiental é uma característica de uma atividade, produto ou serviço que afeta ou pode afetar o meio ambiente, as entradas de células ou as saídas de células. Um impacto ambiental é uma modificação ao meio ambiente causado por aspectos ambientais resultantes de entradas e saídas de células.
- Fase 3 – Medir os fluxos de valores ambientais (FVA): Identificar os dados reais sobre o processo ambiental. Coletar dados ambientais. Mapear a célula “como está” (isto é, o estado atual do processo), e identificar o estado atual da célula para os seus principais fluxos ambientais. Medir os fluxos de massa-energia para a célula. Organizar o evento *Kaizen*. As métricas de melhoria utilizadas para este evento *Kaizen* são as seguintes:
 - Energia: Uso de medidores para coletar toda a energia consumida em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas da energia são usadas para determinar o custo.
 - Água: Uso de medidores para coletar toda a água consumida em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas da água são usadas para determinar o custo.
 - Resíduos metálicos e contaminados e outros resíduos: Estes representam todos os tipos de resíduos produzidos por uma célula em um determinado período de tempo (ou seja, mês). Faturas dos resíduos são usadas para determinar o custo.
 - Óleos e produtos químicos: Um sistema de material da empresa (ou seja, oracle, sistema ERP) é usado para acessar todos os produtos químicos utilizados por uma célula em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas são usadas para determinar o custo.
 - Efluentes: Uso de medidores para a coleta de todos os efluentes gerados em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas são usadas para determinar o custo.
- Fase 4 – Melhorar os fluxos de valores ambientais (FVA): Identificar oportunidades de eliminação de resíduos durante um workshop *Kaizen*. Priorizar os principais fluxos

de apoio de produção para a equipe analisar durante o evento *Kaizen*. Organizar o trabalho em equipe no chão de fábrica para identificar as principais oportunidades de eliminação de resíduos, analisar os principais resíduos em cada fluxo e identificar as principais melhorias. Dependendo do tamanho da célula, em termos de operações e máquinas, o evento *Kaizen* pode envolver entre 20 e 30 pessoas, incluindo todos os operadores, líderes e gestores da célula, e as pessoas de manutenção, bem como especialistas em meio ambiente e *lean*. A **Figura 23** demonstra os diferentes grupos de pessoas que estão envolvidos na iniciativa *kaizen*.

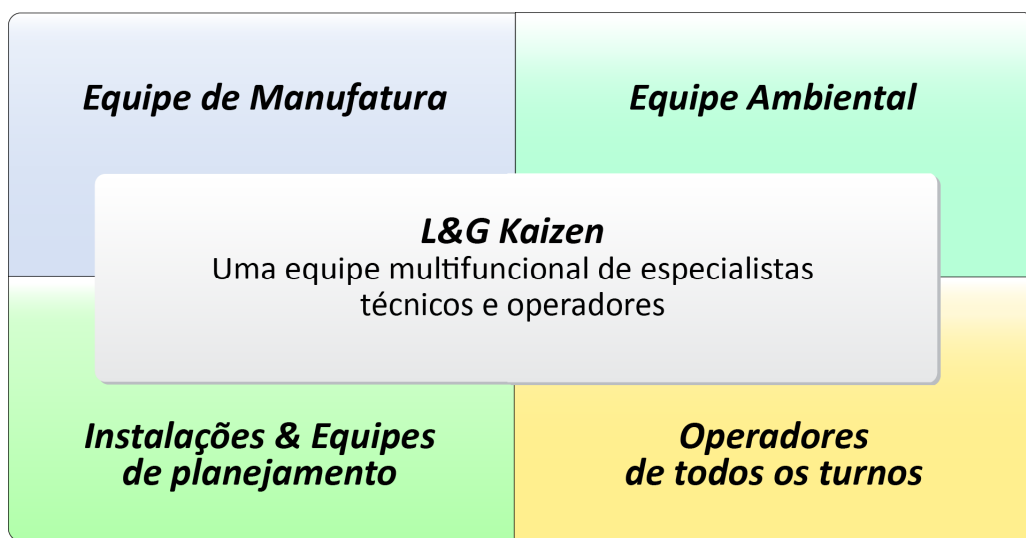


Figura 23: Grupos de pessoas que estão envolvidos na iniciativa *kaizen* – Para uma célula
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A estrutura básica *Kaizen* sob o modelo L&GBM para uma célula inclui as seguintes etapas:

- Etapa 1: Dedicar cerca de duas horas para a introdução da célula e seu estado atual e os custos e os impactos ambientais dos fluxos de massa celular e de energia e, em seguida, organizar as equipes multifuncionais que serão responsáveis por cada um dos fluxos de suporte da célula (ou seja, energia, resíduos, água, produtos químicos, etc.);
- Etapa 2: Dedicar cerca de duas horas para o exercício de colaboração no chão da fábrica. O objetivo de cada equipe é entender o uso ou a geração de fluxo de recursos da equipe durante cada operação da célula. As perguntas que as equipes devem responder incluem: (1) Porque esta operação de manufatura é necessária

nesse processo? (2) Por que este desperdício/consumo é gerado aqui? (3) Qual a frequência com que ela é gerada? (4) Por que essa frequência é necessária? (5) Esta operação é implantada de acordo com o padrão de trabalho? (6) O padrão é correto? e (7) O que pode ser feito para eliminar ou reduzir esse uso?

- Etapa 3: Dedicar aproximadamente duas horas para a consolidação de um mapa do estado futuro para os fluxos de massa e energia da célula e para o desenvolvimento de um plano de ação para as oportunidades de melhoria. Algumas das perguntas que devem ser respondidas aqui incluem: (1) O que foi identificado? (2) Quais são as oportunidades de melhoria? (3) Quais são as mudanças esperadas? (4) Quais são os ganhos? E (5) Como vai ser o estado futuro? Após responder a estas perguntas e depois de construir o novo mapa de massa e energia para a célula e um plano de ação específico para realizar essas mudanças, os resultados *Kaizen* são apresentados à liderança local (que deve aprovar o plano) para desenvolver expectativas apropriadas. Finalmente, um mapa de estado futuro é desenvolvido que mostra o processo de futuro, considerando todas as análises desenvolvidas durante o evento *Kaizen*.

- Fase 5 – Melhoria contínua (MC): Desenvolve planos de ação e de comunicação na oficina *Kaizen*. A sustentabilidade dos resultados alcançados na *Kaizen* deve ser avaliada através de liderança trabalho padrão (LTP). O plano de ação é validado com o líder da equipe do projeto. As responsabilidades entre os membros da equipe são estabelecidos. Capture a aprendizagem.

A integração de manufatura *lean & green* é tratada em uma segunda etapa em processo de melhoria contínua de uma célula. Entende-se que um fluxo de produção estável é o primeiro passo no sentido de assegurar uma empresa *lean & green*. Uma vez que a estabilidade das células é alcançada e a eficiência da produção está sob controle, então a equipe está pronta para o próximo passo; isto explica por que o L&GBM é designado para as células que já possuem fluxo de produção estável e tenham atingido um grau de implantação na aplicação de conceitos do pensamento *lean*. Além disso, a liderança é um bloco de construção fundamental para a implantação *lean & green*. A iniciativa *kaizen* precisa ser aprovada pelo gerente de célula, e exige o compromisso total de líderes de equipe e membros da equipe para implantá-la corretamente.

5.6 L&GBM PARA CÉLULAS IRMÃS

As células irmãs são células de produção que produzem o mesmo produto, possuem as mesmas características, o mesmo número de máquinas, o mesmo tipo de máquinas, e o mesmo número de operações. Em instalações de manufatura intensa, como no caso automotivo, este tipo de configuração é bastante comum. Por exemplo, é possível ter no local de montagem, a 20 células, todas semelhantes, todas elas montando o mesmo tipo de componentes e, por conseguinte, utilizando quantidades semelhantes de matérias-primas e energia e gerando quantidades de resíduos semelhantes.

L&GBM para células irmãs é uma versão mais simples do L&GBM para células. Foi criado como uma medida de melhoria do L&GBM para uma célula. Organizações de manufatura estão sempre em busca de melhores resultados e modernizações, adaptando boas ideias para maximizar o uso dos recursos tanto quanto possível. A questão levantada após o teste-piloto do L&GBM foi: *Seria possível usar as oportunidades de melhoria identificadas durante um evento kaizen para células semelhantes?* Entendendo que o envolvimento das pessoas em organizações com pensamento *lean* é um elemento chave para a sustentação de resultados, a ideia aqui foi criar e testar uma versão mais simples do L&GBM para uma célula, com menos fases e complexidade, para reproduzir as oportunidades de melhoria já identificadas em um evento *kaizen* anterior, sem perder a parte do envolvimento e comprometimento da equipe.

Seguindo os pré-requisitos para o modelo L&GBM em uma célula, apresentados na seção 5.5, os pré-requisitos para aplicação do modelo L&GBM em células irmãs são:

1. Satisfazer os sete pré-requisitos para o L&GBM em uma célula;
2. Ter uma célula irmã que tenha aplicado na íntegra o L&GBM para uma célula nos últimos seis meses antes da nova proposta de *kaizen*.

A **Figura 24** apresenta as quatro fases do L&GBM para células irmãs, uma versão simplificada do L&GBM para uma célula.

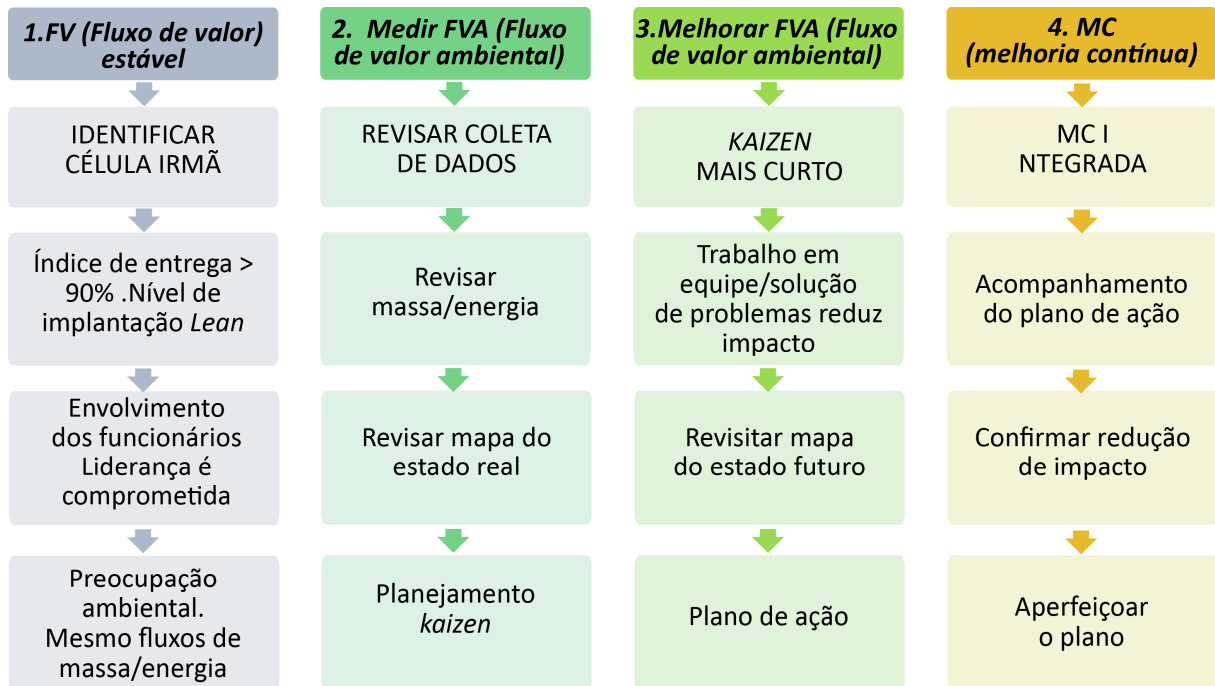


Figura 24: Quatro fases do L&GBM para implantação em células irmãs
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O objetivo geral de cada fase é descrito a seguir:

- Fase 1 – Identificar fluxo de valor estável (FV) e aspectos e impactos ambientais (A): identificar uma célula operacional que atenda a todos os pré-requisitos para o L&GBM para células irmãs certificando-se que a célula possui tipos similares de fluxos de massa e energia.
- Fase 2 – Medir fluxos de valor ambiental (FVA): Revisar o mapa de processo atual para a célula irmã; revisar a coleta de dados com base no trabalho anterior (revisar se há algum problema nos dados ambientais coletados para a célula semelhante e, desta forma, esses dados podem ser reproduzidos).
- Fase 3 – Melhor Fluxos de Valor Ambiental (FVA): workshop *kaizen* mais curto; o objetivo aqui é fazer uma revisão com os operadores das células se as oportunidades de melhoria anteriores, identificadas pelos colegas que trabalham em uma célula semelhante, podem ser aplicadas de maneira repetitiva nas suas células e também se há alguma outra ideia de melhoria a ser considerada. Uma vez que os especialistas já participaram do *kaizen* completo, o público-alvo aqui são os operadores de células. O evento *kaizen* para o L&GBM para uma célula irmã envolve menos pessoas e requer menos tempo. A **Figura 25** apresenta os diferentes grupos de pessoas que estão envolvidas na iniciativa *kaizen*.

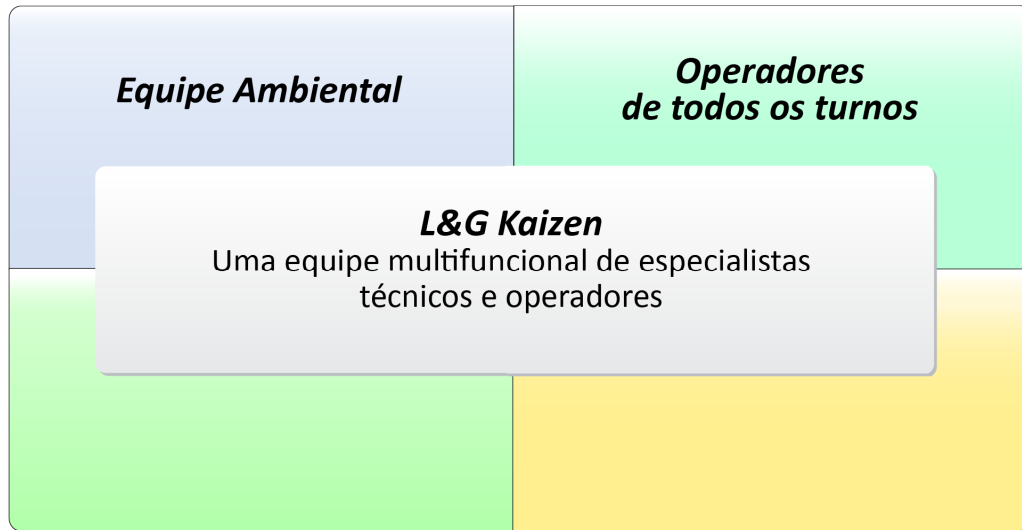


Figura 25: Grupos de pessoas que estão envolvidas na iniciativa *kaizen* – para uma célula irmã
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A estrutura *kaizen* básica aplicada pelo modelo L&GBM para uma célula irmã inclui:

- Etapa 1: Cerca de meia-hora para introdução, entendimento do estado atual, os custos e os impactos ambientais dos fluxos da massa e energia da célula.
- Etapa 2: Cerca de uma hora para o exercício de trabalho em equipe com os operários da fábrica. O objetivo disso é entender o fluxo de uso ou geração de tal recurso durante cada operação da célula e verificar se as ideias identificadas pelos outros colegas no *kaizen* completo podem ser validadas aqui.
- Etapa 3: Cerca de uma hora para consolidação de um novo plano de ação para a célula, reproduzindo as ideias anteriores, identificadas durante o evento *kaizen* completo, e acrescentando novas.
- Fase 4: Melhoria contínua (MC): Desenvolver planos de ação e de comunicação no workshop *kaizen*. A sustentabilidade dos resultados alcançada no *kaizen* através de trabalho de liderança padrão.

5.7 L&GBM PARA FLUXO DE VALOR

Conforme descrito anteriormente, fluxos de valor são o fluxo de material e informação entre múltiplos processos, de modo que os esforços de melhoria de nível de processo individuais se encaixam como um fluxo de valor natural, coincidem com os objetivos da organização e atendem às exigências dos clientes externos (HOPP e SPEARMAN, 2008). A fim de lidar com os princípios do pensamento *lean* de (1) especificar o valor, (2)

identificar os fluxos de valor, (3) fazer fluxo de valor (4), deixar o cliente puxar o valor e (5) buscar a perfeição, as organizações de pensamento *lean* usam o mapeamento do fluxo de valor. Mapeamento do fluxo de valor é uma técnica de manufatura *lean* utilizada para analisar e projetar o fluxo de materiais e informações necessárias para levar um produto ou serviço a um consumidor. Na Toyota, origem dessa técnica, ela é conhecida como “mapeamento de fluxo de material e de informações”. Ela pode ser aplicada a praticamente qualquer cadeia de valor. Apesar de mapeamento do fluxo de valor ser frequentemente associado com a manufatura, é usado também em logística, cadeia de suprimentos, indústrias de serviços relacionados, assistência médica, desenvolvimento de software e desenvolvimento de produtos.

A mesma ideia de redesenhar um fluxo de valor para melhorar o fluxo é aplicada pelo L&GBM para os fluxos de suporte à produção. A diferença aqui é o foco. Embora a aplicação de fluxo de valor tradicional esteja focada em atender as necessidades do cliente, aquele que compra ou solicita um produto acabado ou um serviço, o L&GBM será focado também na preservação do meio ambiente. Assim, o objetivo aqui será o de reduzir o impacto ambiental e melhorar o uso dos recursos. Como no modelo de célula, os objetos de estudo do L&GBM para um fluxo de valor serão os fluxos de apoio para a produção, consumo de massa e de energia e geração de resíduos. Já que o cliente final para um L&GBM para um fluxo de valor é o ambiente, há uma diferença importante a ser considerada.

Para uma perspectiva de manufatura, uma fábrica ou uma instalação pode ter mais de um produto sendo produzido. Como consequência, pode ter mais do que um fluxo de valor, todos eles coexistentes na mesma instalação física. Isso é bom para uma organização *lean*, uma vez que significa que, neste caso, a análise do fluxo de valor terá de ser desenvolvida de forma individual, por fluxo de valor, bem como a implementação de oportunidades de melhoria. *Lean* considera desperdício como valor não agregado para o cliente. O limite *lean* é geralmente definido por um mapa de fluxo de valor. *Lean* promove a eficiência elevada dentro da fronteira do sistema, tal como definido por um mapa de fluxo de valor decidido a minimizar o valor não agregado. *Lean* promove a conservação dos recursos dentro desse limite, o que pode ser as paredes de uma fábrica ou pode estender-se às cadeias de suprimentos (o caminho *lean* conserva os recursos no sentido ambiental - movimentações de material menores e mais curtas, compactação de espaço, melhoria do

processo – perdem menos material ou energia fazendo coisas que realmente não precisavam ser feitas).

Sustentabilidade vai além para incluir o impacto ambiental. Então, essa mesma abordagem não pode ser aplicada quando o foco é o meio ambiente. Como discutido no capítulo 2, o pensamento *green* vê desperdício como extração e consequente eliminação de recursos em índices ou formas além dos que a natureza pode absorver. A natureza é simbiótica. O impacto ambiental no processo de produção é dependente do meio ambiente que o rodeia, o solo, o ar, etc. Vários fluxos de valor coexistentes no mesmo local, na mesma instalação, lugar físico, podem ter um impacto completamente diferente (sistêmico e sinérgico) no meio ambiente do que o seu impacto individual. A **Figura 26** apresenta um quadro para expressar essa ideia.

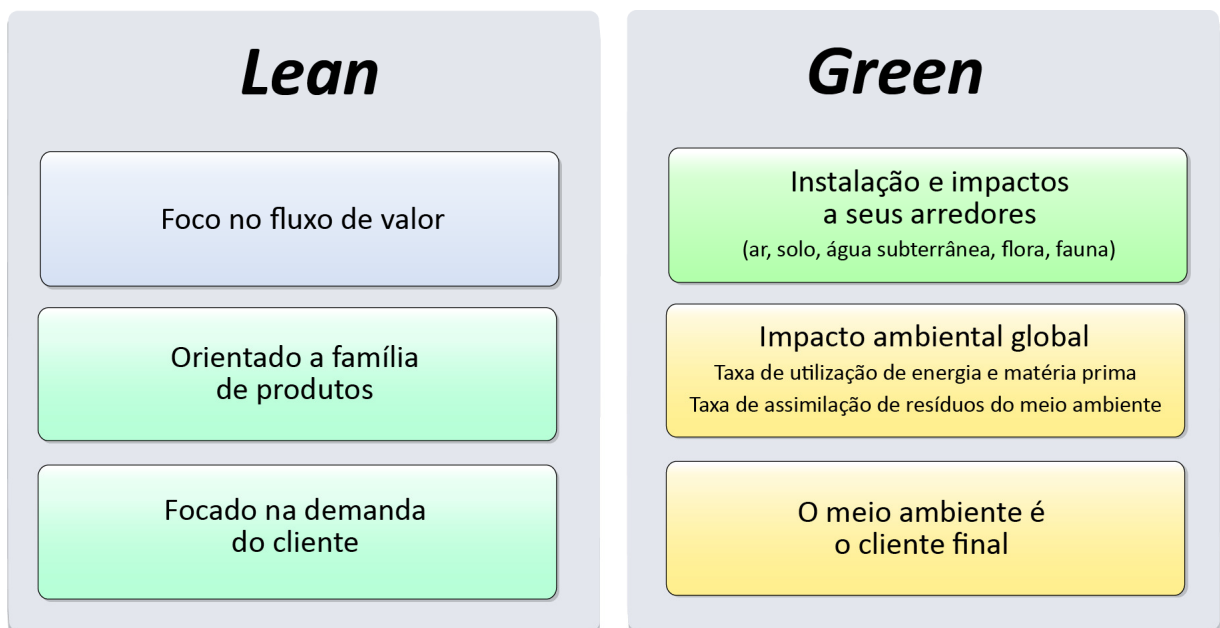


Figura 26: A análise L&GBM de fluxo de valor – Para lidar com os princípios ambientais, o modelo considera todos os fluxos de valor que compõem uma instalação física.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A diferença entre a análise de fluxo de valor original de um produto e os equilíbrios de massa e energia totais da instalação aplicada pelo L&GBM ilustra essa diferença de pensamento. Se vários fluxos de valor coexistem no mesmo lugar físico e isso é bom do ponto de vista do cliente final, no caso do meio ambiente, que é sinérgico e dependente das condições ambientais do seu entorno, o L&GBM para um fluxo de valor propõe a análise de todos eles juntos, e considerando, assim, o impacto ambiental global de um local específico.

Isto significa que a análise de massa e energia de um fluxo de valor, em um local, não será dividida por famílias de produtos, será focada na análise do impacto global ao cliente final deste processo que é o meio ambiente. O resultado esperado do L&GBM para um fluxo de valor é o grau de melhoria nesses fluxos termodinâmicos e serão focadas em estabelecer estratégias para (1) produção com a máxima produtividade no uso dos recursos naturais e com o (2) mínimo impacto ambiental, mas não será fazendo a análise dos fluxos de massa e energia de uma fábrica orientada por famílias de produtos. O L&GBM para o fluxo de valor fará análise dos fluxos de massa e energia de uma fábrica tendo o meio ambiente como cliente final e assim, considerando a análise de seu impacto global. Além dessa diferença, todas as outras características do L&GBM para um fluxo de valor são bastante semelhantes ao modelo apresentado para a célula, o fluxo de primeiro nível. O L&GBM para um fluxo de valor é aplicado ao fluxo de segundo nível, na fase de produção do fluxo de valor estendido, incluindo todos os fluxos de valor que coexistam numa instalação de manufatura e o seu impacto sobre o meio ambiente que o rodeia. A **Figura 27** apresenta esta ideia.

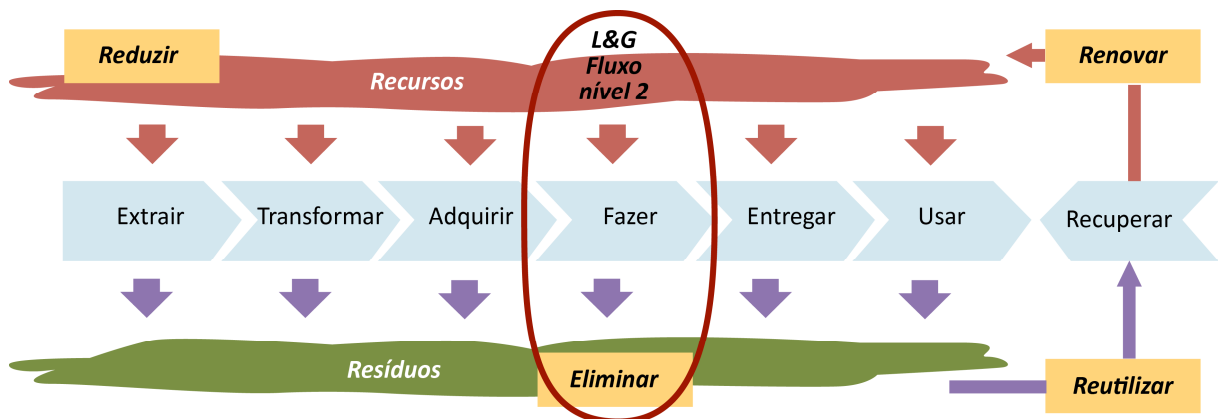


Figura 27: Limites do L&GBM para um fluxo de valor

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Abaixo está uma descrição dos principais pré-requisitos considerados para uma fábrica/fluxo de valor ser aceito para aplicar o L&GBM:

1. Um processo estável global em todos os fluxos de valor, com registros de entrega de mais de 90%;
2. Um nível de implantação desenvolvido na utilização e aplicação de ferramentas *lean* – para todos os fluxos de valor no local;
3. Sistemas de Envolvimento dos funcionários (EF) em vigor;
4. Equipe de gestão apoia a iniciativa;

5. Fábrica tem a certificação ISO 14001 e está em seu 2º ciclo de melhoria;
6. Fábrica faz um uso significativo dos recursos naturais (Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluentes, energia);
7. Estrutura em vigor para coleta de dados ambientais.

A **Figura 28** representa a estrutura padrão básica para o L&GBM para um fluxo de valor.

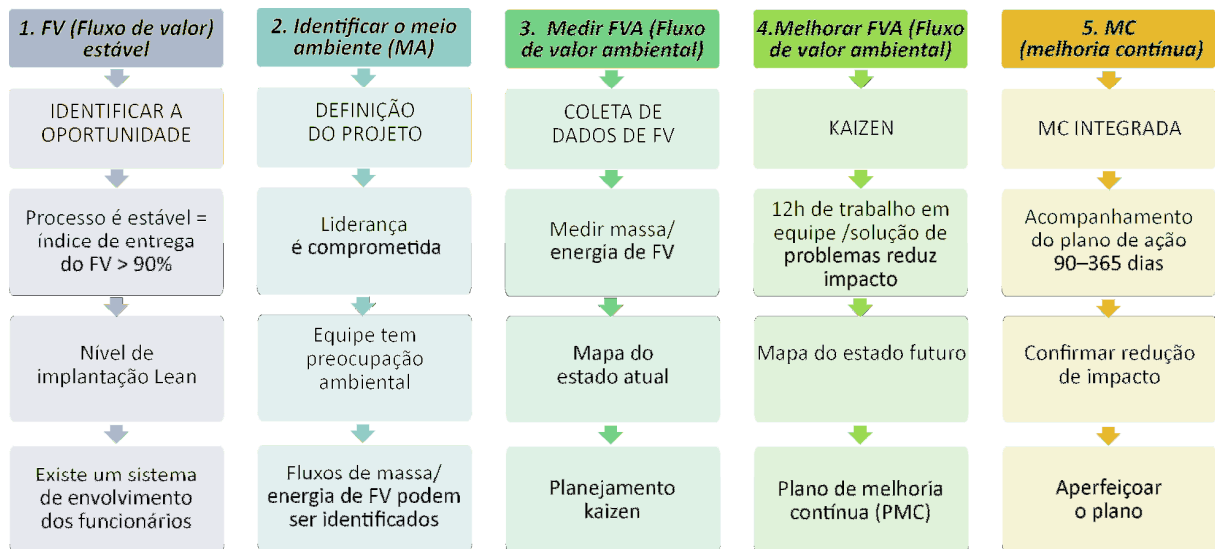


Figura 28: 5 fases do L&GBM para melhoria de desempenho fluxo de apoio em uma fábrica.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O objetivo geral de cada fase é descrito a seguir:

- Fase 1 – Fluxo de valor estável (FV): identificar a necessidade de melhoria. Identifica uma instalação que atenda aos pré-requisitos do L&GBM para um fluxo de valor.
- Fase 2 – Identificar aspectos e impactos ambientais (A): Define o escopo de melhoria do processo através da identificação dos aspectos e impactos ambientais do fluxo de valor (neste caso, a fábrica). Definições de aspecto e impacto são consideradas de acordo com a ISO 14001:2004. Um aspecto ambiental é uma particularidade ou característica de uma atividade, produto ou serviço que afeta ou pode afetar o meio ambiente, as entradas de células ou as saídas de células. Um impacto ambiental é uma modificação ao meio ambiente causado por aspectos ambientais resultantes de entradas e saídas de células.

- Fase 3 – Medir fluxos de valores ambientais (FVA): Identifica os dados reais sobre o processo ambiental. Coleta dados ambientais. Mapeia “como está”, ou processo atual, e identifica dados reais do processo ambiental para toda a instalação, analisando a produtividade global no uso dos recursos e o possível impacto da instalação no meio ambiente. Organizar o evento *Kaizen*. Traça o escopo do projeto e alinha objetivos para a melhoria com o gerente local da fábrica e equipe executiva. Define lista de pessoas a serem envolvidas, uma vez que irá exigir o envolvimento de vários gestores e especialistas.
- Fase 4 – Melhorar os fluxos de valores ambientais (FVA): Identifica oportunidades de eliminação de resíduos durante um workshop *Kaizen*. A **Figura 29** apresenta as pessoas que estão envolvidas na iniciativa *kaizen*.

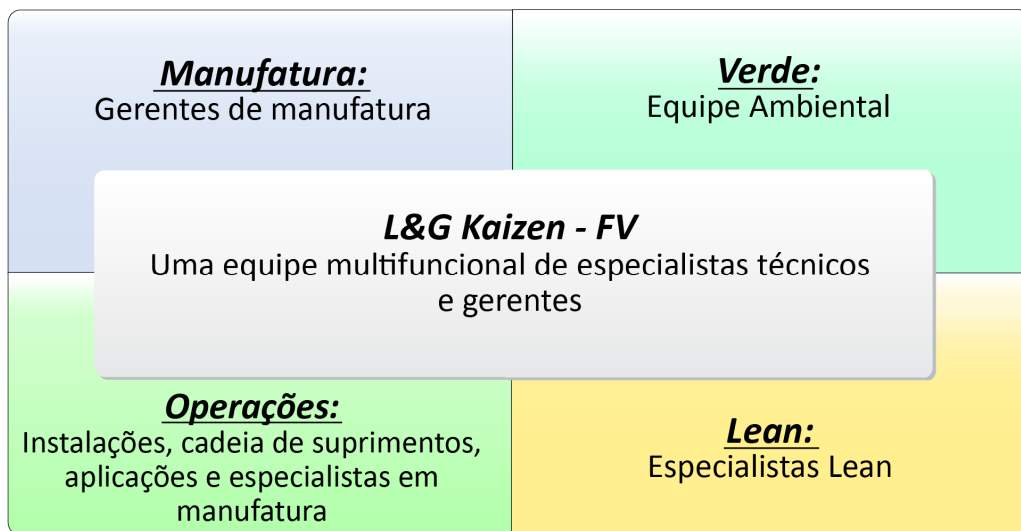


Figura 29: Grupo de pessoas que estão envolvidas na iniciativa *kaizen* – Para um FV
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A **Figura 30** apresenta a estrutura básica do evento *kaizen* aplicado pelo L&GBM para um fluxo de valor.

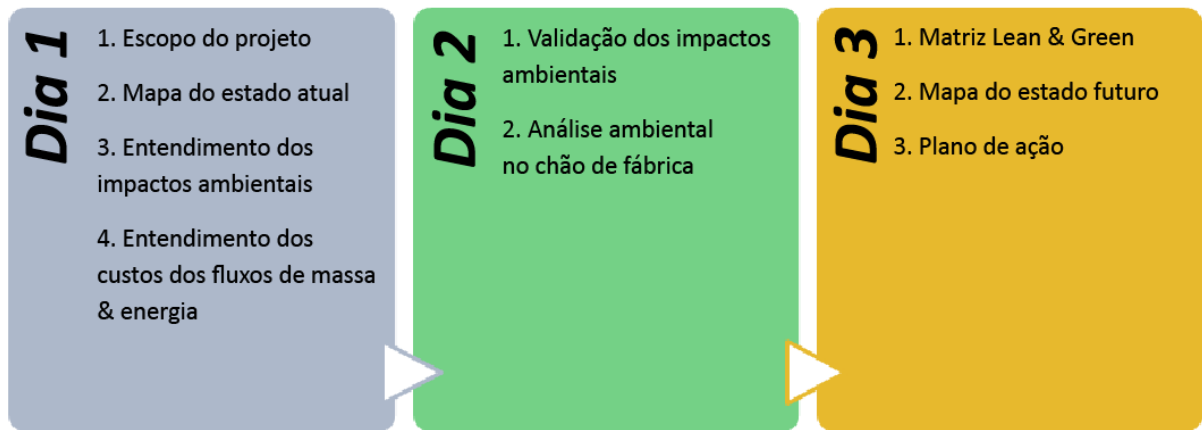


Figura 30: L&GBM para um fluxo de valor – estrutura *Kaizen*
 Fonte: Desenvolvido pelo autor.

- 1º Dia: Cerca de três horas para introdução, entendimento do estado atual, os custos e os impactos ambientais dos fluxos de massa e energia da fábrica e organização das equipes multifuncionais que serão responsáveis por cada um dos fluxos de apoio (energia, resíduo, água, produtos químicos, etc.);
- 2º Dia: Cerca de seis horas para o exercício de trabalho em equipe na fábrica. O objetivo de cada equipe é entender o fluxo de uso ou geração de tal recurso durante cada operação e seu impacto ambiental. Para isso, fichas de avaliação dos aspectos e impacto da ISO 14001 são usadas. No final do exercício, uma matriz de prioridades é concluída e é possível identificar os fluxos de produção de apoio que têm um maior impacto ambiental, bem como as suas partes, etapas, células que são responsáveis pela utilização de maiores recursos e geração de resíduos.
- 3º Dia: Cerca de três horas para consolidação do mapa de estado futuro para fluxos de massa e energia e plano de ação para oportunidades de melhoria bem como priorização das células que representam o maior impacto ambiental e onde o L&GBM para uma célula deve ser aplicado (abordagem sistêmica). Mapeamento do processo futuro, considerando todas as análises desenvolvidas, criação do mapa futuro para os fluxos de produção de apoio examinados durante o *kaizen*.
- Fase 5 – Melhoria contínua (MC): Desenvolver planos de ação e de comunicação no workshop *kaizen*. A sustentabilidade dos resultados alcançada no *kaizen* através de trabalho de liderança padrão (TLP): validar o plano de ação com liderança;

conectar plano de ação com objetivos e metas do sistema de gestão ambiental (ISO 14001).

As **Figuras 31** e **32** apresentam os quadros do que é esperado após a aplicação do L&GBM para um fluxo de valor. Desde que se aplica o L&GBM para um valor de fluxo, o desempenho ambiental geral da fábrica é examinado, a ideia aqui é integrar completamente a análise do L&GMB e as oportunidades de melhoria com estrutura de gestão ambiental da fábrica. Uma vez que os projetos identificados no nível de fluxo de valor exigem engenharia, análise e planejamento, a iniciativa L&GBM será integrada à estrutura de gestão de negócios, como parte de um ciclo de melhoria de 2 a 3 anos.

IDENTIFICAÇÃO DOS FLUXOS DE MASSA & ENERGIA	PRODUTIVIDADE NA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS & REDUÇÃO DE IMPACTO	MELHORIA CONTÍNUA CICLO DE 2-3 ANOS
<i>Energia</i>	<i>Fluxo nível 2 Evento kaizen</i>	ANO 1 Priorização do fluxo de massa & energia Revisão de projetos estratégicos ambientais Identificação de <i>kaizens</i> de fluxo nível 1 ANO 2 Avaliação do desempenho ambiental Revisão de fase de projeto Análise da redução de custo Lições aprendidas ANO 3 Priorização do fluxo de massa & energia Revisão de projetos estratégicos ambientais Identificação de <i>kaizens</i> de fluxo nível 1
<i>Matéria-prima, resíduos de matéria-prima</i>		
<i>Água, produtos químicos, efluentes</i>		
<i>Óleos, resíduos de óleos</i>		
<i>Resíduos contaminados</i>		
	<i>Envolvimento de funcionários</i>	<i>Plano de melhoria contínua ambiental de 3-5 anos</i>
	<i>Solução de Problemas</i>	Plano de sustentabilidade estratégica para os principais fluxos de massa & energia

Figura 31: L&GBM para um fluxo de valor de estrutura de ciclo de melhoria de 2-3 anos
 Fonte: Desenvolvido pelo autor.

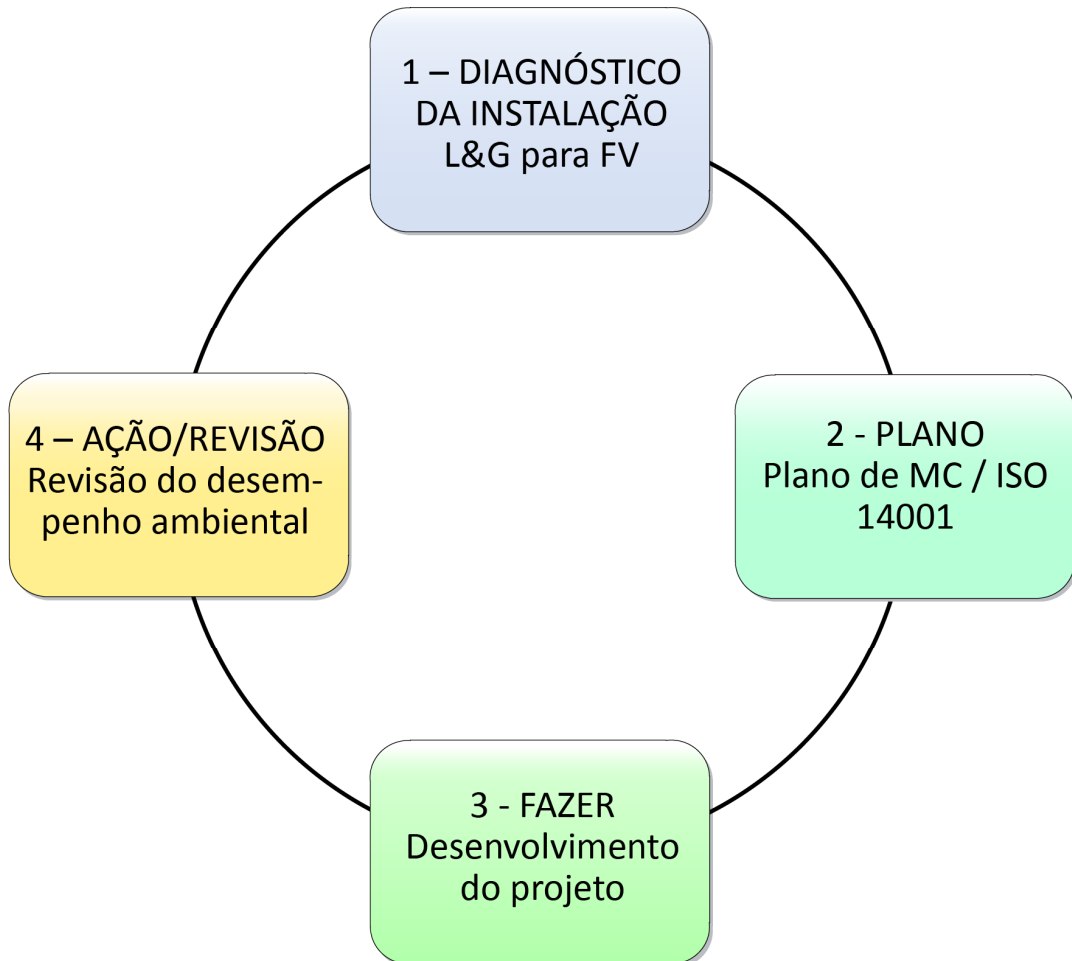


Figura 32: L&GBM para um planejamento final de fluxo de valor integrado ao sistema SGA local (ISO 14001)
 Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Posteriormente, a iniciativa L&GBM será a fase fundamental neste processo para estabelecer o diagnóstico ambiental local. O coração do modelo é a identificação dos fluxos processo para os principais impactos ambientais, desenvolvidos durante o evento *kaizen*. As oportunidades de melhoria identificadas na iniciativa *kaizen* serão integradas ao plano de melhoria contínua da instalação e planos ISO 140001/EMS. A melhoria contínua é apoiada através da revisão de gestão de fluxos de valor críticos e implantação de um plano de melhoria ambiental contínua (PMC) para projetos estratégicos de negócios. O desenvolvimento dos projetos de melhoria e os *kaizens* no nível da célula irão compor o bloco de construção operacional deste ciclo que terminará, em cada período estabelecido, na revisão de desempenho ambiental total, a redução de custos e as lições aprendidas por período.

5.8 CONSOLIDAÇÃO DO L&GBM

A **Tabela 16** destaca as características gerais do L&GBM para os três níveis de fluxos.

Tabela 16: Principais características do L&GBM para os três níveis de fluxos.

	Nível 1 de fluxo	Nível 2 de fluxo	Nível 3 de fluxo
Objetivos principais	Melhorar a produtividade de recursos de processos de manufatura, otimizando seu desempenho de fluxos de apoio (consumo de materiais e de energia e geração de resíduos); Reduzir impacto ambiental dos processos de manufatura, através da redução de resíduos ambientais gerados pela produção.		
Resultados do Sistema	Melhorar o desempenho de fluxos de apoio no nível de CÉLULA: Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluente, energia.	Melhorar o desempenho de fluxos de apoio no nível de FÁBRICA Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluente, energia, CO ₂ , embalagem, etc. Estabelecer novas estratégias ambientais LOCAL / FÁBRICA	Melhoria de desempenho de FLUXO DE PRODUTO ESTENDIDO: Matéria-prima, produtos químicos, Elementos tóxicos, água, resíduos, efluente, energia, CO ₂ , embalagem, etc. Estabelecer novas estratégias ambientais GLOBAIS
Objeto de estudo	Fluxos de apoio da CÉLULA: Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluente, energia.	Fluxos de apoio da FÁBRICA: Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluente, energia, CO ₂ , embalagem, etc.	Fluxos de apoio de PRODUTO ESTENDIDO:- Matéria-prima, produtos químicos, Elementos tóxicos, água, resíduos, efluente, energia, CO ₂ , embalagem, etc.
Pré-requisitos principais gerais para o L&GBM	<ol style="list-style-type: none"> 1. CÉLULA que possui um nível de implantação desenvolvido no uso e aplicação de ferramentas <i>lean</i>; 2. CÉLULA possui um processo estável, com registros de entrega acima de 90%; 3. CÉLULA que já tenha aplicado sistemas de envolvimento de funcionários (EF); 4. Uma gerência que esteja apoiando a iniciativa <i>lean & green</i>; 5. Há bom nível de consciência/preocupação ambiental; 6. CÉLULA faz uso significativo de recursos. 7. Estrutura em vigor para coleta de dados ambientais. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FÁBRICA possui um nível de implantação total desenvolvido no uso e aplicação de ferramentas <i>lean</i>; 2. FÁBRICA possui um processo estável, com registros de entrega acima de 90%; 3. Envolvimento de funcionários 4. Uma equipe de gestores (gerente de fábrica) está apoiando a iniciativa <i>lean & green</i>; 5. FÁBRICA tem certificação ISO 14001 e está no 2º ciclo de melhoria; 6. FÁBRICA faz uso significativo de recursos (Materiais, produtos químicos, água, resíduos, efluente, energia). 7. Estrutura em vigor para coleta de dados ambientais. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FÁBRICAS envolvidas no FVE possuem um nível de implantação total desenvolvido no uso e aplicação de ferramentas <i>lean</i>; 2. Processo MFVE é estável, com uma média de registros de entrega acima de 90%; 3. Envolvimento de funcionários 4. Uma equipe de gestores (MFV Gerentes/Administradores) está apoiando a iniciativa <i>lean & green</i>; 5. FÁBRICAS que fazem parte do fluxo estendido possuem certificação ISO 14001: 2º ciclo de melhoria; 6. FÁBRICAS fazem uso significativo de recursos; 7. Estrutura em vigor para coleta de dados ambientais.

CAPÍTULO 6: APLICAÇÃO E RESULTADOS DO L&GBM

A descrição dos processos de aplicação e resultados após a aplicação do modelo L&GBM serão discutidos neste capítulo.

6.1 TESTE-PILOTO DO MODELO L&GBM PARA UMA CÉLULA

O teste-piloto apresentado neste projeto foi desenvolvido nas operações da GKN Driveline no Brasil. O modelo original testado durante o teste-piloto foi o mesmo apresentada no capítulo 5. O teste-piloto L&GBM foi desenvolvido para investigar os benefícios que ele pode ter para o meio ambiente e os negócios, em termos de redução de resíduos, desempenho operacional e comprometimento dos funcionários. Os principais objetivos do teste-piloto do modelo L&GBM em uma célula foram:

- Confirmar os cinco passos propostos pelo modelo, bem como a estrutura geral antes de implantar para diversas outras células de manufatura;
- Confirmar os pré-requisitos e participantes;
- Analisar a possível economia em termos de melhorias ambientais e redução de custo após a aplicação do modelo;
- Identificar oportunidades de melhoria do modelo.

Neste contexto, a GKN Driveline do Brasil desenvolveu uma aplicação piloto para o L&GBM para uma célula. O projeto piloto foi desenvolvido em células modelo (Monobloco A e Linha de Montagem 20) com nível desenvolvido de implantação do *lean* e através de um evento de equipe *kaizen* multifuncional para assegurar que todos os membros das equipes estavam totalmente envolvidos e tiveram a oportunidade para dar as suas sugestões.

A **Tabela 17** abaixo apresenta as características básicas das células operacionais de manufatura onde o L&GBM foi aplicado.

Tabela 17: Características ambientais e de manufatura das células-piloto onde foi aplicado o L&GBM, incluindo a aplicação e avaliação dos pré-requisitos.

Características de manufatura	Monobloco A	Montagem 20
Período do Kaizen	nov/08	jun/10
Local	Porto Alegre /RS/Brasil	Porto Alegre /RS/Brasil
Natureza das operações	Usinagem de peças de aço para a produção de um Monobloco (parte de um semieixo)	Montagem de peças manufaturadas para a produção de um semieixo
CÉLULA Principal	Energia	Energia
Fluxos de massa e energia	Água Produtos químicos/óleos Efluentes Resíduos metálicos Resíduos perigosos	Graxa residual Resíduos perigosos Panos de limpeza
Dados do estado real: Consumo de energia e materiais e geração de resíduos	Consumo de energia: 261 Mwh /mês Consumo de água: 1.4 m ³ /mês Uso de produtos químicos : 0.6 m ³ / mês Resíduos metálicos : 55 Ton./mês Resíduos perigosos: 60 m ³ /mês	Consumo de energia: 11 Mwh/mês Graxa residual: 0.2 Ton./mês Resíduos perigosos: 3 m ³ /mês Uso de panos de limpeza: 3120 unidades/mês
Análise dos pré-requisitos		
Nível de Lean	Desenvolvido	Desenvolvido
Processo de estabilidade	90%	90%
Aplicação das ferramentas de envolvimento dos funcionários	Em vigor	Em vigor
Apoio das lideranças	Forte	Forte
Consciência ambiental	Em vigor	Em vigor
Uso de recursos	Alto	Médio
Estrutura para coleta de dados	Em vigor	Em vigor
Custo total dos fluxos de massa e energias (R\$ / ano)	R\$ 2.010.000,00	R\$ 967.000,00
Principal impacto no custo ambiental da CÉLULA	Resíduos metálicos 68%	Graxa 75%

Os eventos *kaizen* piloto foram desenvolvidos no final de 2008 e 2010, seguindo o modelo de cinco fases descrito no capítulo 5. Depois de identificar a necessidade de melhoria e aprovar o modelo de teste *kaizen* com o apoio das lideranças da organização, com o apoio de equipamentos e especialistas em meio ambiente, realizou-se um período de coleta de dados. Os dados foram coletados de acordo com a seguinte estrutura:

- **Energia:** Uso de medidores para coletar toda a energia consumida em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas foram usadas para determinar o custo.
- **Água:** Uso de medidores para coletar toda a água consumida em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas foram usadas para determinar o custo.
- **Resíduos metálicos e contaminados e outros resíduos:** Estes representam todos os tipos de resíduos produzidos por uma célula em um determinado período de tempo (ou seja, mês). Foram todos pesados para determinar a quantidade. Faturas dos resíduos foram usadas para determinar o custo.
- **Óleos e produtos químicos:** Um sistema de material da empresa (ou seja, oracle) é usado para acessar todos os produtos químicos utilizados por uma célula em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas foram usadas para determinar o custo.
- **Efluentes:** Uso de medidores para coletar de todos os efluentes gerados em um determinado período de tempo (ou seja, mês). As faturas foram usadas para determinar o custo.

Com esses dados, a estrutura *kaizen* foi organizada para analisar e revisar o estado atual dos fluxos de massa e energia das células em estudo. Os eventos *kaizen* foram desenvolvidos com o envolvimento de 30 pessoas, incluindo os operários, líderes e gerentes, pessoal da manutenção bem como os especialistas em segurança e saúde ambiental e os especialistas em *lean*. O cronograma básico do evento *kaizen* é apresentada na **Tabela 18**.

Tabela 18: L&GBM para uma Célula - Cronograma *Kaizen*

Atividade #	Tópico	Duração	Responsabilidade	Recursos
1	Boas vindas, conceitos e atividades	30 min	Líder do projeto	Apresentação e atividade de dinâmica de grupo
2	Revisão do conceito de resíduo ambiental – Análise do estado real	30 min	Especialista ambiental	Resíduos ambientais Mapa do estado real
3	Revisão do escopo do projeto- Priorização ambiental		Líderes <i>Lean</i>	Escopo do projeto Matriz de priorização e estrutura
4	Trabalho em equipe – definição das equipes por fluxo ambiental, participantes e líderes	30 min	Líderes <i>Lean</i>	Fichas de dados com fluxo ambiental fichas de análise de dados
5	Revisão dos operários – Análise dos resíduos da célula por equipe	1 h 30 min	Líderes de equipe	Ficha de dados com dados de MFV fichas de análise de resíduos fichas de plano de ação
Intervalo				
6	Análise da equipe sobre resíduo consolidação	30 min	Líderes de equipe	Fichas de consolidação, papel pardo, Post-it, canetas
7	Desenvolvimento do mapa do estado futuro pela equipe	30 min	Líderes de equipe	Fichas de consolidação, papel pardo, Post-it, canetas
8	Desenvolvimento de plano de ação da equipe sobre resíduo	30 min	Líderes de equipe	Planilha de plano de ação
9	Plano de ação da equipe e estado futuro do fluxo ambiental apresentação e validação com a equipe de gerenciamento	1 hora	Líderes de equipe	Planilhas de fluxos ambientais e planos de ação
10	Resultados do workshop /análise de dados	15 min	Líder de MC	Planilha de análise de custo Planilha de consolidação de plano de ação
11	Observações finais – análise dos resultados do workshop (sob a perspectiva do envolvimento dos funcionários)	15 min	Gerentes e Líder do projeto	Debate livre
6 horas				

Após seis horas de evento *Kaizen* trabalhando em equipes, com o objetivo de reduzir custos, resíduos e consumo de recursos naturais para os diferentes fluxos de massa e de energia de produção (energia, resíduos metálicos, produtos químicos, resíduos perigosos, efluentes e água), as equipes que estavam participando do piloto definiram um novo estado futuro, identificando oportunidades de melhoria para cada dos fluxos de apoio da célula estudada. Os resultados obtidos a partir dos *kaizens* são agora apresentados na **Tabela 19**.

Tabela 19: Resultados do evento *Kaizen*: Identificação de oportunidades de melhoria para os fluxos de massa e energia da célula.

Impacto na Célula	Monobloco A	Montagem 20
Economia de energia: (%)	8%	6%
Redução general do consumo de produtos químicos: (%)	91% (óleos)	1% (graxa no produto)
Redução do consumo de água: (%)	34%	NA
Redução da geração de efluentes: (%)	69%	NA
Redução da geração de resíduos metálicos: (%)	33%	NA
Redução da geração de resíduos perigosos: (%)	67%	45%
Redução do uso de panos de limpeza: (%)	NA	50%
Redução da geração de graxa residual: (%)	NA	100%*
Redução média dos recursos: (%)	50%	40%
NA = Não aplicável		
*100% de eliminação de resíduos devido a 100% de reciclagem de graxa		

Após um ano de implementação do plano de ação proposto pelo *kaizen*, 94% foi implementado no Monobloco A e 81% implementado na Montagem 20. Os planos de ação dos dois *kaizens* não foram 100% implementados uma vez que algumas das ideias propostas pelas equipes *kaizen* após análises técnicas detalhadas não foram consideradas viáveis pelos peritos técnicos.

A **Tabela 20** apresenta os resultados da implementação dos *kaizens* desenvolvidos no Monobloco A e Montagem 20.

Tabela 20: Resultados da implementação Monobloco A e Montagem 20

	Monobloco A	Montagem 20
% implementada do plano de ação	94%	81%
Exemplos de ideias de oportunidade de melhoria que foram identificadas durante os eventos kaizen que foram implementadas	<p>Para reduzir consumo de energia: Lâmpadas sensíveis ao movimento e de baixa energia;</p> <p>Para reduzir produção de resíduos metálicos: Peças forjadas foram redesenhadas para reduzir resíduos de usinagem e, com isso, resíduos metálicos;</p> <p>Para reduzir a produção de resíduos contaminados: Embalagem plástica contendo a contaminação do óleo foi eliminada dos recipientes - economia substancial nos custos de eliminação.</p>	<p>Para reduzir consumo de energia: Todo o sistema de iluminação da célula de montagem foi substituído por um sistema de 54watts que consome menos energia;</p> <p>Para reduzir produção de graxa residual: (1) Um novo sistema foi introduzido para reutilizar a graxa residual que foi deixada nos tambores utilizados; (2) um novo padrão de pesagem foi introduzido a fim de reduzir a graxa residual do processo.</p>
% Economia de custo através da redução de fluxos de massa e energia da célula	13% Após a implementação dos planos de ação (1 ano)	3% Após a implementação dos planos de ação (1 ano)
Economia de custo (R\$ / Ano)	R\$ 264.000,00 Resultados após a implementação dos planos de ação	R\$ 30.000,00 Resultados após a implementação dos planos de ação

O teste-piloto do L&GBM foi considerado um sucesso. No geral, o teste-piloto representou uma boa amostra da totalidade de pessoal e operações da GKN Driveline do Brasil, considerando-se 60 pessoas (4% da força de trabalho total de GKN em 2010) e 2 células (3% do número total de células em 2010).

Os principais objetivos do teste-piloto foram (1) confirmar as cinco fases propostas e estrutura para um modelo L&GBM para uma célula antes de implantá-lo nas outras diversas células de manufatura de um negócio de manufatura, (2) confirmar os pré-requisitos e participantes, (3) analisar a possível economia em termos de melhorias ambientais e redução de custo após a aplicação do modelo e (4) identificar oportunidades de melhoria do modelo. Todos os objetivos foram alcançados. Portanto, o L&GBM para uma célula foi considerado uma boa estratégia (1) para melhorar a produtividade dos recursos nos processos de manufatura através da otimização do desempenho dos fluxos de apoio (consumo de materiais e energia e produção de resíduos) e (2) para reduzir o impacto

ambiental dos processos de manufatura através da redução de todos resíduos ambientais gerados na produção, os dois objetivos principais do L&GBM. Uma discussão mais detalhada a respeito do teste-piloto será apresentada no capítulo 7.

O tópico importante a destacar é que o teste-piloto para o L&GBM foi considerado bem-sucedido, como provou o *business case* para o L&GBM, e confirmou as características e pré-requisitos propostos. O L&GBM foi então implantado em outras células de manufatura, incluindo as células irmãs e de um fluxo de valor, que serão apresentados nas próximas seções.

6.2 CONTRIBUIÇÕES DOS ESPECIALISTAS MUNDIAIS SOBRE O L&GBM

A **Tabela 21** apresenta as contribuições dos especialistas ambientais mundiais da GKN em relação aos benefícios e obstáculos para implantação do L&GBM em todo o grupo.

Tabela 21: Input dos especialistas da GKN Global em relação aos benefícios e obstáculos de expandir o L&GBM em todo o grupo, com a inclusão de algumas citações.

Vetores de sustentabilidade	Benefícios	Obstáculos
Planeta	<p>1. A preocupação ambiental é fundamental para os negócios de hoje: “O meio ambiente, especialmente na Europa, é um ponto importante: clientes e interessados nos forçarão a fazer melhorias. Evitar e reduzir o desperdício são um dos principais temas do nosso programa ambiental anual.”</p> <p>2. Criação de um novo paradigma – conceito <i>Lean para Green</i>: “Ficou provado que uma célula que apresenta um bom sistema de <i>Lean</i> em vigor tem uma plataforma sólida para o desenvolvimento de melhorias ambientais de forma sustentável.”</p>	<p>1. Acesso à tecnologia: “Muitas tecnologias novas disponíveis, mas o retorno do investimento é proibitivo (mais de 3 anos). Design de produtos, normalmente, não considera o fator de energia usada/necessária. O acesso às novas tecnologias não universalmente disponíveis – países em desenvolvimento; solar, biocombustíveis, eólicas, reciclagem de calor, isolamento térmico de construções – todos acarretam um custo sem rentabilidade clara.”</p> <p>2. Falta de integração do meio ambiente no <i>Lean</i>: “Treinamento <i>Lean</i> da GKN da forma que é desenvolvido agora não parece contemplar economia ambiental.”</p>

(Continua)

(Continuação)

Vetores de sustentabilidade	Benefícios	Obstáculos
Planeta	<p>3. Recriação do conceito de produção mais limpa: “Uma nova forma de reavivar um tópico antigo – a maioria de nós vem pregando e/ou trabalhando no conceito <i>Green</i> desde meados da década de 1900. Isto fortalece o processo e o pensamento.”</p>	<p>3. Diferenças no meio ambiente em todo o mundo: “Grandes disparidades entre o global, regional, do país e dos distritos - as pessoas geralmente cumprem a legislação local, mas não vão além. O acesso a melhores tecnologias do ramo não está disponível (mesmo coisas básicas como água e energia na Índia, por exemplo)” “Maior pressão das autoridades locais torna-se evidente - isso é bom para a empresa ou apenas custo? Custos globais de energia subindo, mas as alternativas são regidas pelo que está disponível localmente (gás, petróleo, GLP, etc.)”</p>
	<p>4. Melhoria do uso de recursos: “Através da melhoria do fluxo de recursos dentro da célula – uma possibilidade grande para reduzir o impacto ambiental.”</p>	
	<p>5. Uma alternativa para prevenção de poluição: “Use práticas ambientais sustentáveis para visar iniciativas de prevenção de poluição integradas ao <i>Lean</i>.”</p>	
Pessoas	<p>1. Uma abordagem integrada e sistemática: “Projeto associou (1) Envolvimento dos Funcionários, (2) abordagem <i>Kaizen Lean</i>, (3) Solução de Problemas e gestão de projetos; (4) pensamento ambiental <i>green</i>.”</p>	<p>1. Falta de consciência de gestão de custos reais e possível economia.</p>
	<p>2. Um esforço de equipe: “Mais reflexões, mais possibilidades, mais sucessos; número maior de pessoas envolvidas em atividades ambientais - maior compreensão e mais mãos para fazer o trabalho. Uso ferramentas e competências sociais do EF (envolvimento dos funcionários) para capturar as melhores ideias.”</p>	<p>2. Falta de experiência em toda a GKN e divisões para direcionar e orientar; Falta de implementadores para fazer <i>Lean & Green</i>.</p>
	<p>3. Apoio à cultura de MC (melhoria continua): “Integra pensamento ambiental com atividades de <i>Lean</i> em vez de ser visto como autônomo – trabalho de outra pessoa.”</p>	<p>3. Diferenças culturais: “Muitos locais diferentes com culturas diferentes – história diferente – e ambiente diferente.”</p>

(Continua)

(Conclusão)

Vetores de sustentabilidade	Benefícios	Obstáculos
Lucro	<p>1. Abordagem de redução de custo – Otimização do uso de recursos:</p> <p>“Lean é reconhecida e praticada na GKN – adaptar essa rota comprovada é uma receita para o sucesso - técnicas <i>lean</i> já alcançaram uma boa eficiência e credibilidade - será uma abordagem boa se pudermos adaptar as ferramentas para abordagem <i>green</i> e provar sua eficácia.”</p>	<p>1. Prioridades de custo:</p> <p>“Muitas coisas para fazer... nenhum benefício em curto prazo. Foco no cliente e nos lucros. Pressão para reduzir número de funcionários. Satisfação dos interessados no curto prazo. A falta de clareza sobre as nossas prioridades e, ao mesmo tempo, muitas iniciativas que precisamos apoiar ou, pelo menos, considerar.”</p>
	<p>2. Melhoria de resultados gerais:</p> <p>“Aborda o processo do início ao fim de encontrando oportunidades de economia ambiental. Portanto, melhorar os resultados gerais (ambientais, custos, utilização de recursos, etc.) em uma abordagem orientada para negócio mais focado.”</p>	<p>2. Prioridades de manufatura:</p> <p>“Todas as atividades <i>Lean</i> precisam acontecer diante de uma necessidade básica para ter tempo suficiente para fazer cronogramas de produção.”</p>
	<p>3. Foco operacional:</p> <p>“Lean tem foco operacional, medimos nosso desempenho com base no PDCA (Planejar-Fazer-Verificar-Agir) podemos fazer o mesmo nas questões <i>Green</i>.”</p>	<p>3. Falta de recursos:</p> <p>“Competição por tempo, especialistas e prioridade. Há muita coisa acontecendo ao mesmo tempo. Devemos também ter em mente que a crise nos empurrou para restringir de forma muito significativa os nossos recursos. Desenvolvimento de ferramentas <i>lean</i> consumiu vastos recursos e tempo.”</p>

A **Figura 33** mostra a consolidação do que foi apresentado na matriz, descrevendo as dez razões principais porque o modelo L&GBM será bom para a GKN e também as dez razões principais porque será difícil implantar este conceito em todo o mundo.

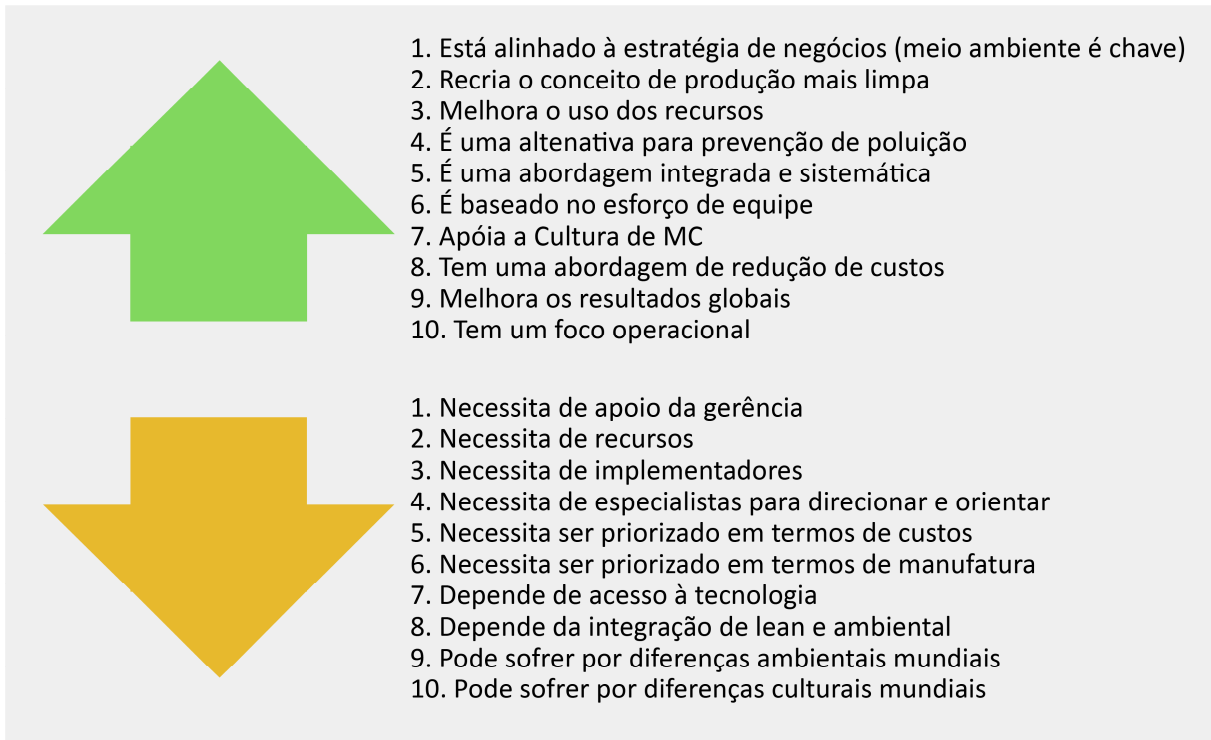


Figura 33: 10 benefícios e obstáculos principais do L&GBM segundo especialistas da GKN Global
 Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Como dito anteriormente, os objetivos principais desde seminário foram: (1) identificar com os especialistas, os benefícios decorrentes da implementação de uma iniciativa *Lean & Green* na GKN e (2) identificar os principais obstáculos para a implantação deste conceito. Seguindo o que é apresentado na **Figura 33**, de acordo com os especialistas, o L&GBM trará vários benefícios para a empresa. Talvez esta lista dos dez obstáculos principais deva ser levada em consideração para desenvolver a ideia geral e escopo do L&GBM em todo o grupo. Esses obstáculos identificados pelos especialistas devem ser considerados e revisados após o teste-piloto do L&GBM em uma célula em diferentes ambientes de manufatura em toda a GKN.

6.3 IMPLANTAÇÃO DO MODELO L&GBM EM UMA CÉLULA

A implantação do modelo L&GBM em uma célula apresentada neste projeto foi desenvolvida nas operações GKN Driveline no Brasil, nas instalações de Porto Alegre e Charqueadas, durante 2011 e 2012. Todos os sete *kaizens* aqui apresentados foram desenvolvidos ao longo de 2011 e a implementação dos planos de ação foi monitorada ao

longo de 2012 e finalizada em dezembro do mesmo ano. Os principais objetivos da implantação foram:

- Aplicar o modelo L&GBM em diversas células de manufatura diferentes de um negócio de manufatura, fazendo a integração com a estrutura *lean* já existente e avaliar possibilidades: (1) para melhorar a produtividade de recursos de processos de manufatura e (2) para reduzir o impacto ambiental dos processos de manufatura;
- Confirmar os pré-requisitos para testar o modelo em diferentes circunstâncias;
- Avaliar possíveis economias em termos de melhorias ambientais e redução de custo após a aplicação do modelo;
- Identificar oportunidades de melhoria do modelo.

O modelo aplicado para implantação foi o mesmo apresentado na seção 5.5 L&GBM para uma célula. Os *kaizens* desenvolvidos seguiram a mesma estrutura, também apresentada na seção 5.5, envolvendo em todas elas cerca de 20 a 30 pessoas, incluindo operadores, especialistas e gestores. O cronograma para o evento *kaizen* foi o mesmo desenvolvido para o teste-piloto, já apresentado na seção 6.1. Os dados foram coletados de acordo com a estrutura apresentada na seção 5.5 e detalhada na seção 6.1, onde o teste-piloto foi apresentado. No total, no decorrer de 2011, sete *kaizens* foram desenvolvidos, conforme o cronograma apresentado abaixo:

- Fev/11 – Eixo A
- Mar/11 – Tripeça A
- Jul/11 – Junta Fixa C, FP B, Gaiola A
- Ago/11 – FP A, AIR A

A implantação representou uma boa amostra da totalidade de pessoal e operações da GKN Driveline do Brasil, um total de 15% da força de trabalho total da GKN em 2011 e 12% do número total de células em 2011. Todas essas sete células de manufatura das operações da GKN Driveline no Brasil têm características diferentes em termos de pré-requisitos para realizar o L&GBM para uma célula. As **Tabelas 22 e 23** apresentam as características básicas das células operacionais de manufatura, onde o L&GBM foi aplicado.

Tabela 22: Características de manufatura e ambientais de Eixo A, Tripeça A, JF C, FP B, incluindo a avaliação de pré-requisitos

Características da manufatura	Eixo A	Tripeça A	JF C	FP B
Período Kaizen	fev/11	mar/11	jul/11	jul/11
Local	Charqueadas	Porto Alegre	Porto Alegre	Charqueadas
Natureza das operações	Usinagem de aço de eixos (parte de um semieixo)	Usinagem de aço de tripeças (parte de um semieixo)	Usinagem de aço juntas fixas (parte de um semieixo)	Forjaria de precisão (Forjaria de peças)
CÉLULA principal Fluxos de massa e energia	Energia Água + Efluentes Produtos químicos/óleos Resíduos perigosos Resíduos metálicos	Energia Água + Efluentes Produtos químicos/óleos Resíduos metálicos Resíduos gerais (panos de limpeza e outros)	Energia Água + Produtos químicos/óleos + Efluentes Resíduos metálicos Resíduos perigosos	Energia Produtos químicos/óleos Água + Efluentes Resíduos metálicos
Dados do estado real: Consumo de energia e materiais e produção de resíduos	Consumo de energia: 155 Mwh /mês Consumo de água: 36,4 m ³ /mês Geração de efluentes: 54,6 m ³ /mês Uso de produtos químicos: 1.466 L / mês Resíduos metálicos: 26,6 Ton./mês Resíduos perigosos: 1,66 Ton./mês	Consumo de energia: 72,1 Mwh /mês Consumo de água: 3,14 m ³ /mês Geração de efluentes: 6,28 m ³ / mês Uso de produtos químicos: 2.921 L / mês Resíduos metálicos: 17,8 Ton./mês Uso de panos de limpeza: 411 pç/mês	Consumo de energia: 120,7 Mwh /mês Consumo de água: 9,92 m ³ /mês Geração de efluentes: 10,7 m ³ /mês Uso de produtos químicos: 555 L / mês Resíduos metálicos: 38,3 Ton./mês Resíduos perigosos: 4,3 m ³ /mês	Consumo de energia: 527,6 Mwh /mês Consumo de água: 18,2 m ³ /mês Geração de efluentes: 24,7 m ³ /mês Uso de produtos químicos: 3.600 L / mês Resíduos metálicos: 26,9 Ton./mês
Análise dos pré-requisitos				
Nível do Lean	Desenvolvido	Avançado	Desenvolvido	Desenvolvido
Estabilidade do processo	90%	Maior que 90%	90%	Menor que 90%
Aplicação das ferramentas de envolvimento de funcionários	em vigor	muito alta	em vigor	em vigor
Apoio de liderança	em vigor	Muito forte	em vigor	em vigor
Consciência Ambiental	em vigor	em vigor	em vigor	em vigor
Uso de recursos	Alto	Médio	Alto	Muito Alto
Estrutura para coleta de dados	em vigor	em vigor	em vigor	em vigor
Custo total de fluxos de massa e energia (R\$ / Ano)	R\$ 1.550.270,00	R\$ 801.565,00	R\$ 1.606.290,00	R\$ 2.827.911,00
Maior impacto no custo ambiental da CÉLULA	Resíduo Metálico 63%	Resíduo Metálico 66%	Resíduo Metálico 72%	Energia 53%

Tabela 23: Características de manufatura e ambientais de Gaiola A, FP A, AIR A, incluindo a avaliação de pré-requisitos

Características da manufatura	Cage A: A1-A2	PF A	AIR A
Período Kaizen	jul/11	ago/11	ago/11
Local	Porto Alegre	Charqueadas	Porto Alegre
Natureza das operações	Usinagem de aço de gaiolas (parte de um semieixo)	Forjaria de precisão (forjaria de peças)	Usinagem de aço de anéis (parte de um semieixo)
CÉLULA principal	Energia	Energia	Energia
Fluxos de massa e energia	Produtos químicos/óleos	Produtos químicos/óleos	Efluentes
	Resíduos metálicos	Água + Efluentes	Produtos químicos/óleos
	Resíduos perigosos	Resíduos metálicos	Resíduos perigosos
			Resíduos metálicos
			Resíduos gerais
Dados do estado real: Consumo de energia e materiais e produção de resíduos	Consumo de energia: 121 Mwh /mês Uso de produtos químicos: 2.245 L / mês Resíduos metálicos: 18,3 Ton./mês Resíduos perigosos: 4,4 m ³ /mês	Consumo de energia: 738 Mwh /mês Consumo de água: 1.382 m ³ /mês Geração de efluentes: 823,5 m ³ / mês Uso de produtos químicos: 31.101 L / mês Resíduos metálicos: 27 Ton./mês	Consumo de energia: 71,8 Mwh /mês Geração de efluentes: 8,8 m ³ /mês Uso de produtos químicos: 1.620 L / mês Resíduos metálicos: 1,45 Ton./mês Resíduos perigosos: 4,6 m ³ /mês Resíduos gerais: 23 unidades/mês
Análise dos pré-requisitos			
Nível do Lean	Desenvolvido	Desenvolvido	Desenvolvido
Estabilidade do processo	90%	Menor que 90%	90%
Aplicação das ferramentas de envolvimento de funcionários	em vigor	em vigor	em vigor
Apoio de liderança	em vigor	em vigor	em vigor
Consciência Ambiental	em vigor	em vigor	em vigor
Uso de recursos	Alto	Muito alto	Baixo
Estrutura para coleta de dados	em vigor	em vigor	em vigor
Custo total de fluxos de massa e energia (R\$ / Ano)	R\$ 1.530.545,00	R\$ 5.508.704,00	R\$ 326.064,00
Maior impacto no custo ambiental da CÉLULA	Resíduo Metálico 71%	Produtos químicos – 40% Energia – 38%	Energia 62%

Após um evento *kaizen* de seis horas trabalhando em equipes, com o objetivo de reduzir custo, resíduos e consumo de recursos naturais para diferentes fluxos de massa e energia de produção (energia, resíduo metálico, produtos químicos, resíduos perigosos, efluentes e água), as equipes que participaram em cada evento *kaizen* definiram um novo futuro, identificando oportunidades de melhoria para cada um dos fluxos de apoio da célula. Os resultados obtidos nos eventos *kaizens* são agora apresentados na **Tabela 24**.

Tabela 24: Resultados dos sete eventos *kaizen* desenvolvidos no decorrer de 2011

	Eixo A	Tripeça A	JF C	FP B	Gaiola A: A1-A2	FP A	AIR A
Economia de energia: (%)	2,8%	14,4%	10,3%	2,0%	11,0%	1,7%	4,7%
Redução no consumo de água: (%)	100%	28,2%		1,1%	NA	72,2%	NA
Redução no consumo de produtos químicos em geral: (%)	29,2% (óleos)	86,4% (óleos)	44,8% (água, produtos químicos e efluentes)	49% (óleo de forjamento)	60% (óleos)	7,0%	76,1% (óleos)
Redução na produção de efluentes: (%)	100%	28,2%		1,1%	NA	72,2% (efluente de fosfato)	0%
Redução na geração de resíduos metálicos: (%)	20,1%	19,1%	1,5%	27,7%	1,2%	14,3%	0%
Redução na geração de resíduos perigosos: (%)	55,2%	NA	50,0%	NA	50,0%	NA	50,0%
Redução na geração de resíduos em geral: (%)	NA	66% (Uso de panos de limpeza)	NA	NA	NA	NA	5,0%
Redução recursos médios: (%)	50%	40%	27%	17%	31%	34%	34%
NA = Não aplicável							
*100% de eliminação de resíduos devido a usinagem a seco							

As **Tabelas 25** e **26** mostram os resultados de implementação dos *kaizens* desenvolvidas nessas sete células de implantação. Esses *kaizens* foram desenvolvidos ao longo de 2011 e os resultados da implementação dos planos foram acompanhados ao longo de 2011 e 2012.

Tabela 25: Resultados da implementação de *kaizens* para Eixo A, Tripeça A, JF C, FP B

Resultados da implementação	Eixo A	Tripeça A	JF C	FP B
% plano de ação implementado (2011-2012)	68%	86%	40%	55%
Exemplos de ideias de oportunidade de melhoria que foram identificados durante os eventos Kaizen e que foram implementadas	<p>Para reduzir consumo de energia: (1) Sistema de iluminação foi substituído por um sistema de 54watts que consome menos energia; (2) redução de vazamento de ar comprimido;</p> <p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) eliminação de vazamento; (2) eliminação das fontes de contaminação de óleos hidráulicos e de corte;</p> <p>Para reduzir o consumo de água e produção de efluentes: (1) eliminação do uso do óleo solúvel GROB 1146;</p>	<p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) desenvolvimento de recipientes para reaproveitar óleos na célula (2) implementação de usinagem a seco na maioria das operações;</p> <p>Para reduzir a produção de resíduos metálicos: (1) redução de fonte extra de material metálico na parte (redução de material extra na parte superior da peça e do diâmetro interno);</p>	<p>Para reduzir consumo de energia: (1) implementação de um sistema para desligar as máquinas no final do ciclo;</p> <p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) redução do uso de concentrado de fluorescência devido a uma melhoria na mistura do produto;</p>	<p>Para reduzir a produção de resíduos metálicos: (1) melhoria no armazenamento do aço. (2) melhoria do sistema de pesagem, após a operação de corte;</p> <p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) Inspeção diária do sistema hidráulico para eliminar a contaminação de emulsão Lubrodal com óleo hidráulico;</p>
Economia de custo (R\$/ano) Ações implementados ao longo de 2011-2012	R\$ 97.318,19	R\$ 153.604,21	R\$ 66.572,93	R\$ 317.946,51
% Economia de custo pela redução dos fluxos de massa e energia da célula	6,3% Após implementação dos planos de ação	19% Após implementação dos planos de ação	4% Após implementação dos planos de ação	11% Após implementação dos planos de ação

Tabela 26: Resultados da implementação de *kaizens* para Gaiola A, FP A, AIR A

Resultados da implementação	Gaiola A: A1-A2	FP A	AIR A
% plano de ação implementado (2011-2012)	60%	58%	50%
Exemplos de ideias de oportunidade de melhoria que foram identificados durante os eventos <i>Kaizen</i> e que foram implementadas	<p>Para reduzir a produção de resíduos perigosos: (1) implementação de um sistema de reutilização de papel filtro de processo de retificação;</p> <p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) desenvolvimento de proteções para evitar vazamentos de óleo, adaptação do sistema para retornar óleo extra para os tanques da máquina;</p>	<p>Para reduzir a produção de resíduos metálicos: (1) Redução do tamanho/dimensão da parte;</p> <p>Para reduzir o consumo de água e produção de efluentes: (1) Eliminação de fontes extras de entrada de água na linha de fosfato, reduzindo produção de efluentes em geral;</p>	<p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) Alteração no sistema que segrega lodo e óleo de retificação para reutilização;</p> <p>Para reduzir a produção de resíduos perigosos: (1) implementação de um sistema de reutilização de papel filtro de lodo de retificação</p>
Economia de custo (R\$/ano) - Ações implementadas ao longo de 2011-2012	R\$ 61.910,55	R\$ 116.860,33	R\$ 25.079,20
% Economia de custo pela redução dos fluxos de massa e energia da célula	4% Após implementação dos planos de ação	2% Após implementação dos planos de ação	8% Após implementação dos planos de ação

A implantação do L&GBM para uma célula foi considerado um sucesso.

A implantação envolveu um total de 15% do total de funcionários da GKN do Brasil em 2011 e 12% do número total de células em 2011. As melhorias dos fluxos de massa e energia como resultado da implantação foram todas monitoradas ao longo de 2012 e os melhores resultados foram todos confirmados. No geral, 60% dos planos de ação para os sete *kaizens* desenvolvidos foram, em média, implementados, após um ano, economizando cerca de R\$839.292,00, o que representou uma redução de 5,5% para os fluxos de massa e energia das células.

Os principais objetivos do teste – (1) aplicar o L&GBM em várias células de manufatura de um negócio de manufatura, integrando o modelo com estrutura *lean* pré-existente, (2) testar os pré-requisitos do modelo em diferentes circunstâncias, (3) avaliar a possível economia, em termos de melhorias ambientais e redução de custos após a aplicação do modelo, (4) Identificar oportunidades de melhoria do modelo – foram desenvolvidos com sucesso.

Por isso, a implantação do L&GBM para uma célula ratificou os resultados já apresentados no teste-piloto. O modelo pode ser considerado uma boa estratégia para (1) melhorar a produtividade dos recursos de processos de manufatura, otimizando seu desempenho fluxos de apoio (consumo de energia e materiais e produção de resíduos) e para (2) reduzir o impacto ambiental dos processos de manufatura, reduzindo todos os resíduos ambientais gerados pela produção. Uma discussão mais detalhada sobre a implantação, principalmente em relação aos resultados alcançados pelas células que apresentaram níveis diferentes para os sete pré-requisitos, serão apresentados no capítulo 7.

6.4 APLICAÇÃO DO MODELO L&GBM PARA CÉLULAS IRMÃS

A implantação do L&GBM para células irmãs apresentada neste projeto foi desenvolvida nas operações GKN Driveline no Brasil, na instalação de Porto Alegre, no decorrer de 2011. Todos os três *kaizens* aqui apresentados foram desenvolvidos ao longo de 2011 e a implementação dos planos de ação foi monitorada ao longo de 2012 e finalizada em dezembro do mesmo ano. Os objetivos do teste foram:

- Aplicar e testar o modelo L&GBM para células irmãs em diversas células de manufatura diferentes de um mesmo negócio;
- Confirmar os pré-requisitos;
- Avaliar possíveis economias em termos de melhorias ambientais e redução de custo após a aplicação do modelo e compará-lo com o modelo L&GBM para uma célula;
- Identificar oportunidades de melhoria do modelo.

O modelo aplicado foi o mesmo apresentado na seção 5.6 L&GBM para células irmãs. Os *kaizens* desenvolvidos seguiram a mesma estrutura apresentada na seção 5.6, e já que foi um evento kaizen mais simples, envolvendo, sobretudo, os operadores. No total, no decorrer de 2011, três *kaizens* foram desenvolvidos, envolvendo cerca de dez células irmãs, conforme o cronograma apresentado abaixo:

- Ago/11 – Tripeça B e C, célula irmã da Tripeça A
- Set/11 – AIR B, C, D, E, célula irmã da AIR A
- Nov/11 – AIR F, G, H, I, célula irmã da AIR A

A **Tabela 27** apresenta as características básicas das células operacionais de manufatura, onde o L&GBM para células irmãs foi aplicado.

Tabela 27: Características de manufatura e ambientais das células onde o L&GBM foi aplicado, incluindo a aplicação e avaliação de pré-requisitos da célula.

Características da manufatura	Tripeça B_C	AIR B_C_D_E	AIR F_G_H_I
Período Kaizen	ago/11	set/11	nov/11
Local	Porto Alegre	Porto Alegre	Porto Alegre
Natureza das operações	Usinagem de aço	Usinagem de aço	Usinagem de aço
CÉLULA principal Fluxos de massa e energia	Energia	Energia	Energia
	Água + Efluentes	Efluentes	Efluentes
	Produtos químicos/óleos	Produtos químicos/óleos	Produtos químicos/óleos
	Resíduos metálicos	Resíduos metálicos	Resíduos metálicos
	Resíduos em geral (Panos de limpeza e outros)	Resíduos perigosos Resíduos em geral	Resíduos perigosos Resíduos em geral
	Dados do estado real: Consumo de energia e materiais e produção de resíduos	Consumo de energia: 186,2 Mwh /mês Consumo de água: 1,3 m ³ /mês Uso de produtos químicos : 5.842 L / mês Resíduos metálicos : 35,4 Ton./mês	Consumo de energia: 287,2 Mwh /mês Produção de efluentes: 35,2 m ³ / mês Uso de produtos químicos: 6.480 L/ mês Resíduos metálicos: 5,8 Ton./mês Resíduos perigosos: 18,4 m ³ /mês Resíduos em geral: 92 unidades/mês
Análise dos pré-requisitos			
Nível do Lean	Avançado	Desenvolvido	Desenvolvido
Estabilidade do processo	mais de 90%	90%	90%
Aplicação das ferramentas de envolvimento de funcionários	Muito alta	em vigor	em vigor
Apoio de liderança	Muito forte	em vigor	em vigor
Consciência Ambiental	em vigor	em vigor	em vigor
Uso de recursos	Médio	Baixo	Baixo
Estrutura para coleta de dados	em vigor	em vigor	em vigor
Custo total de fluxos de massa e energia (R\$ / Ano)	R\$ 1.185.420,00	R\$ 1.304.259,00	R\$ 1.304.259,00
Maior impacto no custo ambiental da CÉLULA	Resíduos Metálicos 66%	Energia 62%	Energia 62%

Após quase três horas de evento *kaizen*, com o objetivo de reduzir, custos, resíduos e consumo de recursos naturais para diferentes fluxos de massa e energia de produção (energia, resíduo metálico, produtos químicos, resíduos perigosos, efluentes e água), as equipes que participaram em cada evento definiram um novo estado futuro para a célula, identificando oportunidades de melhoria para cada um dos fluxos de apoio da célula.

A **Tabela 28** apresenta os resultados da implementação dos três eventos *kaizen*. Esses *kaizen* foram todos desenvolvidos ao longo de 2011 e os resultados da implementação dos planos foram acompanhados ao longo de 2011 e 2012.

Tabela 28: Resultados da implementação de *kaizens* para Tripeça B_C, AIR B_C_D_E e AIR F_G_H_I

Resultados da implementação	Tripeça B_C	AIR B_C_D_E	AIR F_G_H_I
% plano de ação implementado (2011-2012)	65%	14%	18%
Exemplos de ideias de oportunidade de melhoria que foram identificados durante os eventos <i>Kaizen</i> e que foram implementadas	<p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) desenvolvimento de recipientes para reaproveitar óleos na célula;</p> <p>Para reduzir o consumo de água e produção de efluentes: (1) reutilização da água da máquina de lavar e condicionadores de ar para a limpeza de pisos;</p>	<p>Para reduzir uso de produtos químicos: (1) eliminação de vazamento de produtos químicos;</p>	<p>Para reduzir consumo de energia: (1) sistema de iluminação foi substituído por um sistema de 54watts que consome menos energia;</p> <p>Para reduzir o consumo de água e produção de efluentes: (1) reutilização da água dos condicionadores de ar para a limpeza de pisos;</p>
Economia de custo (R\$/ano) Ações implementados ao longo de 2011-2012	R\$ 42.095,63	R\$ 6.294,00	R\$ 9.297,52
% Economia de custo pela redução dos fluxos de massa e energia da célula	3,5% Após implementação dos planos de ação	0,5% Após implementação dos planos de ação	1% Após implementação dos planos de ação

As melhorias nos fluxos de massa e energia em consequência do L&GBM para células irmãs foram monitoradas ao longo de 2012 e os melhores resultados foram todos

confirmados. No geral, 32% dos planos de ação para os três *kaizens* desenvolvidos foram, em média, implementados, após um ano, economizando cerca de R\$57.687,15, o que representou uma redução de 1,7% para os fluxos de massa e energia das células.

Portanto, apesar da ideia do modelo L&GBM para células irmãs era desenvolver um *kaizen* mais simples, os resultados mostram que esse envolvimento insuficiente de especialistas e análise dos fluxos de massa e energia durante os *kaizens* resultaram em planos de ação implementados em menor escala (32% neste caso, para a implantação, a média foi de 60%), e, em consequência, redução menor tanto dos fluxos de massa e energia das células (1,7%, neste caso, para a implantação, a média foi de 5,5%) quanto da economia financeira. Uma discussão mais detalhada e conclusiva sobre o L&GBM para as células irmãs será apresentada no capítulo 7.

6.5 APLICAÇÃO DO MODELO L&GBM PARA UM FLUXO DE VALOR

A aplicação do L&GBM para um fluxo de valor apresentada neste projeto foi desenvolvida nas operações GKN Driveline no Brasil, nas instalações de Porto Alegre e Charqueadas, no dia 22 de novembro de 2011; o plano de ação foi monitorado ao longo de 2012 e evento *kaizen* de fluxo nível 2 foi repetido no dia 29 de novembro de 2012. Os objetivos principais desse teste foram:

- Confirmar os pré-requisitos do L&GBM para um fluxo de valor;
- Usar o L&GBM para um fluxo de valor para priorizar nível 1 *lean & green kaizens* de fluxo para 2012;
- Entender o estado atual do fluxo nível 2 de massa e energia, identificar oportunidades de melhoria através de trabalho em equipe, propondo um novo estado futuro e um plano de ação;
- Integrar os resultados e planos *kaizen* do L&GBM para um fluxo de valor com a estrutura existente no local (planejamento estratégico, planos de melhoria, sistema ISO 14001).

A estrutura usada para aplicar o L&GBM para um fluxo de valor foi a mesma apresentada na seção 5.7. As **Figuras 34 e 35** mostra uma ideia geral do escopo *kaizen*.

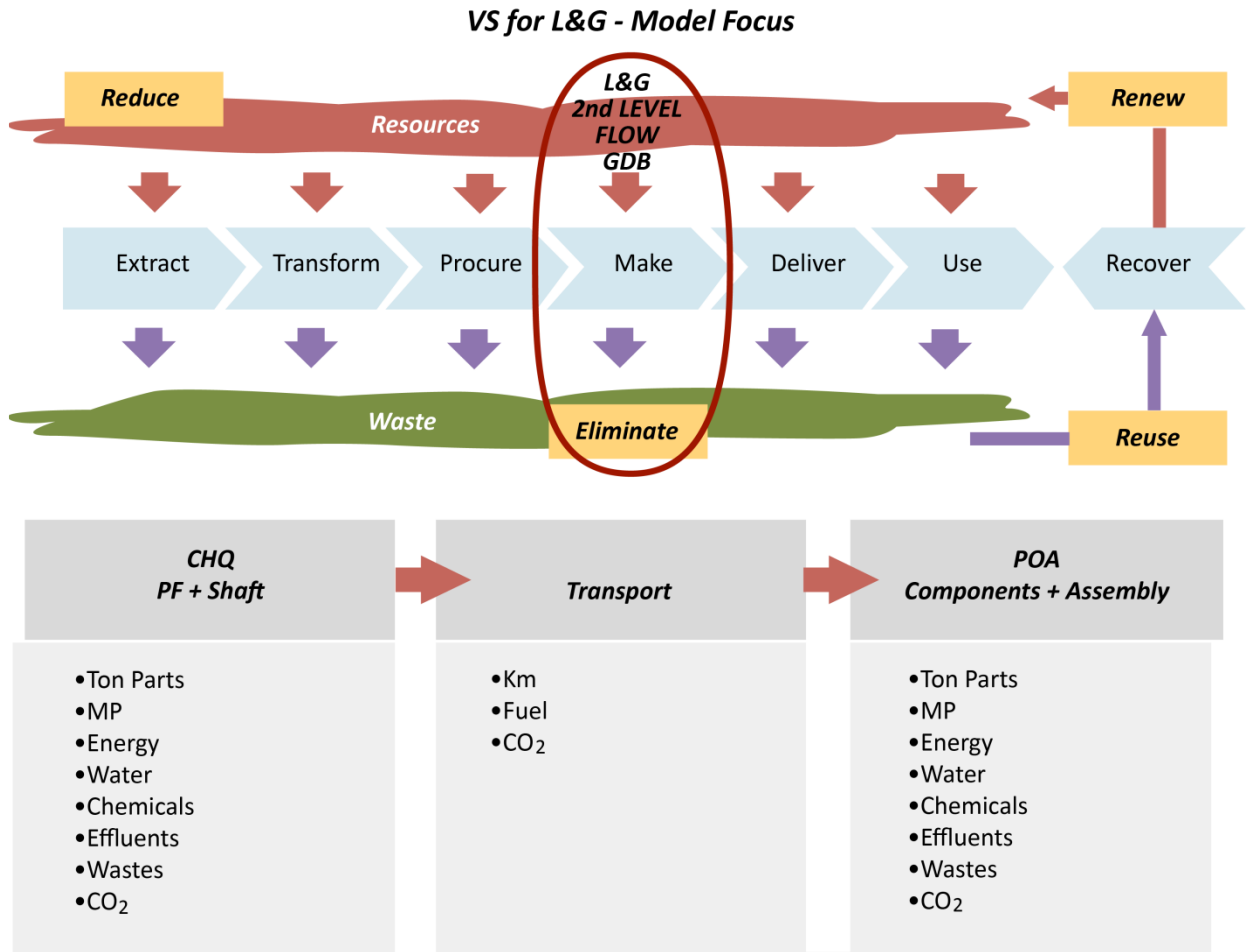
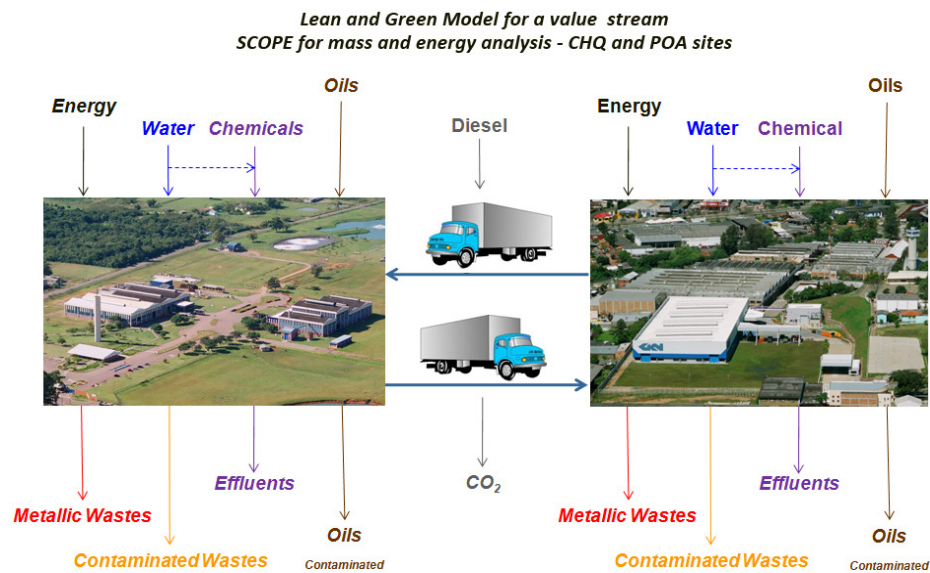


Figura 34: Ideia geral da aplicação do L&GBM para um fluxo de valor nas operações da GKN Driveline do Brasil



* Activities excluded: Heat Treatment and Painting

Figura 35: Operações da GKN Driveline do Brasil: fluxos de massa e energia que serão investigados durante os kaizens

Todos os dados usados para o evento *kaizen* foram coletados, compilados e organizados pela equipe ambiental da GKN do Brasil (especialistas ambientais). Os dados usados para este *kaizen* têm as seguintes fontes:

- **Energia:** Medidores de energia foram utilizados para coletar dados de energia (sistema de medição da GKN do Brasil, medidores dos fornecedores de energia (CEEE) e sistema de internet DCS da GKN). Os dados foram coletados para os locais macros (POA e CHQ) mensalmente. Faturas foram usadas para acessar o custo.
- **Água:** Medidores de água foram utilizados para coletar dados de água (sistema de medição da GKN do Brasil, medidores dos fornecedores de água (DMAE e CORSAN) e sistema de internet DCS da GKN). Os dados foram coletados para os locais macros (POA e CHQ) mensalmente. Faturas foram usadas para acessar o custo.
- **Resíduos metálicos e contaminados:** Todos os containers de resíduos gerados pelas instalações de POA e CHQ foram pesados antes de saírem dos locais. O sistema de pesagem da GKN Brasil foi usado; os sistemas de internet DCS da GKN e da Fepam (agência de controle ambiental) foram utilizados para um controle mensal dos dados de geração de resíduos. Faturas foram usadas para acessar o custo.
- **Óleos e produtos químicos:** O sistema de material da GKN do Brasil (oracle) foi utilizado para acessar o consumo de cada fonte individual de produto químico usado nos locais macros (POA e CHQ). Faturas foram usadas para acessar o custo.
- **Efluentes:** Medidores de efluentes foram utilizados na coleta mensal de dados de cada fluxo individual de efluente gerado pelos locais macros (POA e CHQ). Faturas dos produtos químicos e custos ambientais foram usadas para acessar o custo de efluentes gerados pelas instalações de POA e CHQ.

Os *kaizens* de fluxo nível 2 desenvolvidos na GKN Driveline do Brasil seguiram a mesma estrutura apresentada na seção 5.7, com a participação de cerca de 30 pessoas, uma equipe multifuncional formada por especialistas técnicos e gerentes.

Como também apresentado na seção 5.7, a ideia do L&GBM para um fluxo de valor é que as oportunidades de melhoria serão integradas como parte da estrutura de melhoria contínua da instalação. O cronograma e estrutura *kaizen* foram baseados nessa ideia, conforme apresentado na **Figura 32**.

No caso da GKN Driveline do Brasil, foi desenvolvido nos anos 1 e 2 do ciclo de melhoria de 2–3 anos proposta pelo L&GBM para o FV.

O *kaizen* de fluxo nível 2 foi desenvolvido pela primeira vez em novembro de 2011. Naquele ano os resultados para os fluxos de massa e energia do fluxo de valor foram revistos, projetos estratégicos ambientais foram identificados, *kaizens* de fluxo de nível 1 foram priorizados. Com o plano de ação identificado, oportunidades de melhoria foram implementadas e os resultados foram acompanhados ao longo de 2012.

Então, os dados foram coletados novamente e um novo *kaizen* foi desenvolvido em 2012. Neste novo *kaizen* os resultados (revisão de desempenho ambiental), projetos e redução de custos foram revisados, lições aprendidas. Um novo plano de melhoria foi gerado para o período de 2013. Este processo será detalhado nas próximas páginas.

A **Tabela 29** apresenta as características básicas das operações de manufatura da GKN Driveline do Brasil, incluindo a avaliação do L&GBM para pré-requisitos de FV para os *kaizens* desenvolvido em 2011 e 2012.

Tabela 29: L&GBM para um FV – Escopo do projeto e análise dos pré-requisitos

Escopo de Projeto <i>Kaizen Lean & Green</i>		
Nome da instalação da GKN:	GKN Driveline do Brasil – Porto Alegre e Charqueadas	
Produtos principais:	Forjaria de precisão de peças, componentes e semieixos	
Natureza das operações:	(1) Usinagem de peças – Eixos, Monoblocos, juntas fixas, Componentes (2) Pintura de eixos (3) Tratamento térmico de componentes (4) Montagem de semieixos (5) Forjaria de precisão – Forjaria de peças (6) Tratamento com fosfatização de peças forjadas	
Atividades incluídas na análise de fluxo de valor:	(1) Usinagem (4) Montagem (5) Forjaria de precisão (6) Tratamento de fosfatização	
Atividades excluídas na análise de fluxo de valor:	(2) Pintura (3) Tratamento térmico Estes dois processos foram excluídos porque são duas células únicas, assim, serão tratados separadamente, como em <i>kaizens</i> de fluxo nível 1.	
Pré-requisitos - <i>Kaizen Lean & Green</i>		
ANO	2011	2012
Datas dos <i>Kaizens</i>:	22/Nov/2011	29/Nov/2012
Vendas no período:	6.200.000 SEH	6.400.000 SEH
Toneladas de partes enviadas no ano:	57.197 Ton.	59.038 Ton.
Média de entrega (DAS):	92%	94%
Nível de <i>Lean</i>:	Desenvolvido	Desenvolvido
Aplicação das ferramentas de envolvimento de funcionários:	Desenvolvido	Desenvolvido
Certificação ISO 14001 da Célula/Instalação	Desde 2000 – Ciclo 4	Desde 2000 – Ciclo 4
Data do último treinamento recebido pelos membros de equipe da instalação:	jul/11	jun/12
Instalação tem um intenso uso de recursos?	SIM	SIM
Principais fluxos ambientais de apoio são dispendiosos?	SIM	SIM
Estrutura de coleta de dados?	SIM	SIM

A **Tabela 30** apresenta os dados de 2011 e os resultados para os fluxos de massa e energia estudados para a aplicação do L&GBM para os fluxos de valor nas operações de manufatura da GKN Driveline do Brasil.

Tabela 30: Coleta de dados de fluxos de massa e energia – período de 2011

	1. Energia Elétrica	2. Resíduos Metálicos	3. Água, produtos químicos de usinagem e efluentes	4. Óleos e óleos contaminados	5. Resíduos contaminados
Descrição dos principais fluxos de apoio:	1. Energia elétrica POA e CHQ	1. Resíduos metálicos (Chips) 2. Sucata (<i>Piercing</i> , barras, outros) 3. Iodo metálico	1. Água 2. Efluentes 3. Líquidos de resfriamento	1. Óleos (para máquinas, manutenção e proteção) 2. Resíduos de óleos (POA e CHQ)	1. Papel filtro contaminado 2. Graxa contaminada 3. Mangas contaminadas 4. Resíduos contaminados em geral (plástico, papel, outros)
Fluxos Ambientais – medição física	86.185 Mwh	12.739 Ton.	1. Água : 112.467 m ³ 2. Efluentes: Eixo: 2.310 m ³ Fostato: 7.798 m ³ FP: 1.445 m ³ POA: 6.675 m ³ 3. Líquidos de resfriamento Eixo: 15.320 L Fosfato: 51.695 L FP: 357.510 L POA: 93.556 L	1. Óleos: 730.630 L 2. Resíduos de óleos: 105.640 L	1. Total de resíduos contaminados: 1.640 m ³ + 35.610 unidades de manga
Estado atual Resultado de custo:	R\$19,55Mi	R\$44,81Mi	R\$7,26Mi	R\$3,734Mi	R\$1,39Mi
Indicadores de desempenho ambiental: (fluxo ambiental / toneladas de partes)	1,506 Mhw/Ton.	0,222 Ton. /Ton.	1,966 M ³ água/Ton. 0,2 m ³ efluente POA /Ton.	12,77 L óleo novo /Ton	0,028 M ³ /Ton.

Durante o primeiro *kaizen*, em 2011, todos os gerentes e especialistas que participaram, foram convidados a revisar o estado atual, analisar oportunidades de melhoria e propor um estado futuro. Para desenvolver esta atividade, gerentes e especialistas foram divididos em equipes.

No primeiro dia do evento *kaizen*, o objetivo foi revisar o escopo do projeto e entender o estado atual. Três horas foram dedicadas a essas atividades. No segundo dia do *kaizen*, o objetivo foi definir uma visão comum sobre as áreas de manufatura, principais impactos ambientais e os taxa de custos. Já que a GKN Driveline do Brasil tem seis unidades de manufatura operacionais (Eixo e Forjaria de Precisão em Charqueadas e Montagem, Componentes, Juntas fixas e Juntas deslizantes em Porto Alegre), lideradas por cada gerente de manufatura, partindo das áreas de tratamento de resíduos e efluentes para a área de manufatura, as equipes revisaram todas as operações e processos, a fim de identificar os pontos-chave para o impacto ambiental, impacto de custos e impacto de fluxo. A **Figura 36** mostra um exemplo do exercício desenvolvido com a equipe enquanto eles estavam no chão de fábrica.

Projeto Lean & Green da GKN					
Folha 2: Revisão ambiental do chão da fábrica – dinâmica de equipe					
	Data:	Nome da instalação	Nome da Unidade de Negócio	Gerente da UM	OB1
Equipe Kaizen:					Ver 18/Nov/2011 Por Andrea Pampanelli
Atividade 2: Análise Ambiental global - revisão ambiental do chão de fábrica - dinâmica de equipe Objetivo: Estabelecer uma visão geral comum sobre principais impactos ambientais, taxa de custo, taxa de impacto corporativo Tempo total para esta atividade: 110 minutos Entradas de índices: Impacto ambiental: 81: Alto / 27: Médio / Menos de 27: Baixo Índice de impacto de custos: Custo alto X Impacto ambiental Alto/Médio = Alto Exigência corporativa: Sim: Alta / Não: Baixa Exigência corporativa: Sim: Alta / Não: Baixa					
	1. Energia elétrica	2. Resíduos metálicos	3. Água, usinagem, produtos químicos e efluentes	4. Óleos e óleos contaminados	5. Resíduos contaminados
Célula 1: 02 – Eixo – A					
Índice de impacto ambiental:	Red	Red	Red	Yellow	Yellow
Índice de impacto de custos:	Red	Green	Red	Green	Green
Índice de impacto corporativo:	Red	Green	Red	Green	Red
Índice de produção / impacto de fluxo: 3500	Red	Red	Red	Red	Red
TOTAL:	Red	Red	Red	Yellow	Yellow
Brainstorm – oportunidade de melhorias					
Célula 2: 07 – Tripeça A					
Índice de impacto ambiental:	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red
Índice de impacto de custos:	Red	Red	Yellow	Yellow	Green
Índice de impacto corporativo:	Red	Green	Red	Green	Red
Índice de produção / impacto de fluxo: 2000	Green	Green	Green	Green	Green
TOTAL:	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red
Brainstorm – oportunidade de melhorias					

Figura 36: Exemplo de revisão ambiental de chão de fábrica desenvolvido durante o fluxo *kaizen* nível 2

A equipe levou seis horas para completar esta fase, três em Charqueadas e três em Porto Alegre. Depois, no último dia, divididos em seis equipes, cada uma representando um dos cinco fluxos ambientais que estão sendo estudados, com o objetivo de reduzir custos, resíduos e consumo de recursos naturais para os diferentes fluxos de massa e energia de produção (energia, resíduos metálicos, produtos químicos, resíduos perigosos, efluentes e água), o trabalho teve continuidade. Após três horas, as equipes analisaram as condições atuais e, baseados nas informações coletadas durante os dois primeiros dias, propuseram um novo futuro, e identificaram oportunidades de melhoria para cada um dos fluxos de apoio de massa e energia.

As equipes de gerentes e especialistas montaram um plano de ação para cada um dos fluxos de massa e energia estudados, com um total de 41 ações estratégicas fundamentais a serem implementadas, com uma possível economia de custos de R\$ 2,32 milhões. O plano proposto foi integrado ao sistema ISO 14001 da instalação (SGA)/Sistema de melhoria contínua. O plano foi acompanhado ao longo de todo o ano pelos altos executivos da instalação.

O plano foi revisado novamente pelos especialistas. Das 41 ações propostas, duas foram canceladas já que elas não foram consideradas viáveis. A saber:

- **FV de resíduo metálico:** Mudança da ferramenta de produção de peças da forjaria;
- **FV de óleos:** Mudança do sistema de controle de óleos.

Das 39 ações que foram consideradas viáveis para implementação, oito foram implementadas no decorrer de 2012, representando 12% de implementação e tendo uma direta economia de custo de R\$ 1,59 Mi. As ações implementadas foram:

- **FV de energia:** (1) Mudança do sistema de bombeamento de água fria; (2) correção de Energia Reativa; (3) Implementação de um sistema de monitoramento e controle de vazamentos de ar comprimido;
- **FV de resíduo metálico:** (4) Mudança do design da Gaiola;
- **FV de água / produtos químicos:** (5) Mudança no sistema de lubrificante da Forjaria;
- **FV de óleos:** (6) Implementação de sistema interno de regeneração de óleo – com caminhão de regeneração de óleo; (7) implementação de um sistema para reutilização de óleo AIR;

- **FV de resíduo:** (8) Implementação de sistema de reutilização de graxa residual.

Também, com base nas informações coletadas durante o exercício no chão da fábrica, a equipe *kaizen* propôs uma lista de células que devem ser priorizadas para o fluxo *Kaizen* de nível 1 uma vez que estas células mostraram claramente um uso significativo de massa e energia. O grupo de células que deve ser priorizadas foi (1) células JF, (2) células Monobloco, (3) células Eixo, (4) células FP.

As **Figuras 37 e 38** apresentam a matriz de priorização desenvolvida durante o evento *kaizen*. Destacam-se o *kaizen lean & green* para células desenvolvido na GKN Driveline do Brasil de 2008 a 2011 e os *kaizens* propostos para 2012.

6. Transporte	5. Resíduos contaminados	4. Oleos e óleos contaminados	3. Água, usinagem, produtos químicos e efluentes	2. Resíduos metálicos	1. Energia elétrica			
NA							2011	01 – AIR – Célula A
NA							2011	02 – AIR – Célula B
NA							2011	03 – AIR – Célula C
NA							2011	04 – AIR – Célula D
NA							2011	05 – AIR – Célula E
NA							2011	06 – AIR – Célula F
NA							2011	07 – AIR – Célula G
NA							2011	08 – AIR – Célula H
NA							2011	09 – AIR – Célula I
NA								10 – Célula de Torneamento do AIR
NA								11 – Célula de Brochamento do AIR
NA								12 – Célula de Exportação do AIR
NA								13 – Célula de Inspeção Final do AIR
NA							2011	14 – Gaiola – Célula A1 e A2 Dura
NA								15 – Gaiola – Célula B1 e B2 Dura
NA								16 – Gaiola – Célula C1 e C2 Dura
NA								17 – Gaiola – Célula D1 e D2 Dura
NA							2011	18 – Gaiola – Célula A Mole
NA								19 – Gaiola – Célula B Mole
NA								20 – Gaiola – Célula C Mole
NA								21 – Gaiola – Célula D Mole
NA								22 – Gaiola – Célula V
NA								23 – Gaiola – Célula de Torneamento
NA							Parcial	24 – Célula Georg da Gaiola
NA								25 – Célula de Brochamento da Gaiola
NA								26 – Célula de Exportação e Inspeção Final da Gaiola
NA								01 – Montagem – Célula 10
NA								02 – Montagem – Célula 11
NA								03 – Montagem – Célula 12
NA								04 – Montagem – Célula 13
NA								05 – Montagem – Célula 14
NA								06 – Montagem – Célula 15
NA								07 – Montagem – Célula 16
NA								08 – Montagem – Célula 17
NA								09 – Montagem – Célula 18
NA								10 – Montagem – Célula 19
NA							2010	11 – Montagem – Célula 20
NA								12 – Montagem – Célula 21
NA								13 – Montagem – Célula 22
NA								14 – Montagem – Célula 23
NA								15 – Montagem – Célula 24
NA								16 – Célula de Retrabalho de Montagem
NA								17 – Célula HytreI
NA								18 – Célula DVR
Legenda:	Análise de equipe relacionada ao uso de recursos naturais em células de manufatura (impacto ambiental e custos)							
NA	Não aplicável							
Vermelho	Célula possui um uso alto/intenso deste fluxo de apoio – energia, material ou geração de resíduos – Impacto ambiental alto e custo alto							
Amarelo	Célula possui um uso médio/moderado deste fluxo de apoio – energia, material ou geração de resíduos – Impacto ambiental moderado e custo moderado							
Verde	Célula possui um uso baixo deste fluxo de apoio – energia, material ou geração de resíduos – Impacto ambiental baixo e custo baixo							

Figura 37: Parte a: matriz de priorização células Lean & Green

6. Transporte	5. Resíduos contaminados	4. Óleos e óleos contaminados	3. Água, usinagem, produtos químicos e fluentes	2. Resíduos metálicos	1. Energia elétrica			
NA						2012		2 - JF - Célula A
NA								02 - JF - Célula B
NA							2011	03 - JF - Célula C
NA						2012		04 - JF - Célula D
NA								05 - JF - Célula E
NA								06 - JF - Célula F
NA								07 - JF - Célula H
NA								08 - JF - Célula I
NA						2012		01 - Célula AEV
NA						2012		02 - Célula AIV
NA								03 - Célula HSQL
NA							2008	04 - Monobloco - Célula A
NA						2012		05 - Monobloco - Célula B
NA						2012		06 - Monobloco - Célula C
NA								07 - Tripeça - Célula A
NA								08 - Tripeça - Célula B
NA								09 - Tripeça - Célula C
NA								10 - Tripeça OP 20 e Inspeção Final
NA								11 - Tulipa - Célula A
NA								12 - Tulipa - Célula B
NA								13 - Tulipa - Célula C
NA								14 - Célula de Montagem de Tulipa
								01 - Célula de Barra de Eixo/Corte de Tubos
								02 - Eixo - Célula A
						2012		03 - Eixo - Célula B
						2012		04 - Eixo - Célula C
								05 - Eixo - Célula D
								06 - Eixo - Célula E
								07 - Eixo - Célula F
								08 - Eixo - Célula G
								09 - Eixo - Célula H
								10 - Eixo - Célula MTS
							Parcial	01 - Célula de Corte de JF
							2011	02 - JF - Célula A
							2011	03 - JF - Célula B
								04 - JF - Célula C
							Parcial	05 - Célula de Fosfato
								06 - Célula de óleo de grifagem
Legenda:	Análise de equipe relacionada ao uso de recursos naturais em células de manufatura (impacto ambiental e custos)							
NA	Não aplicável							
Vermelho	Célula possui um uso alto/intenso deste fluxo de apoio – energia, material ou geração de resíduos							
Amarelo	Célula possui um uso médio/moderado deste fluxo de apoio – energia, material ou geração de resíduos							
Verde	Célula possui um uso baixo deste fluxo de apoio – energia, material ou geração de resíduos							

Projeto Lean & Green da GKN
Matriz Lean & Green

Figura 38: Parte b: matriz de priorização células *Lean & Green*

Baseado nesta priorização, dez novos *kaizens* de fluxo nível 1 foram desenvolvidos em áreas críticas, tais como Monobloco, Eixo, Junta fixa, FP, contribuindo de forma significativa para a redução geral de fluxo de massa e energia. No decorrer de 2012 esses dez *kaizens* para células geraram uma economia direta de R\$ 73.840,65. A **Figura 39** mostra a lista de *kaizens* para células desenvolvidos ao longo de 2012.

Eventos Kaizen em 2012 – Nível 1



Figura 39: Lista de *Kaizens* de fluxo nível 1 desenvolvidos ao longo de 2012

Juntos, os dez kaizen para células desenvolvidos em 2011 (implantação e células irmãs) e dez novos *kaizens* desenvolvidos representaram uma economia de R\$ 0,923 Mi.

Assim, ambas estratégias (implementação de projetos de melhoria de fluxo nível 2 e implementação de ações de fluxo nível 1) geraram uma economia direta de R\$ 1,59 Mi mais R\$ 0,923 Mi, totalizando R\$ 2,513 Mi de economia L&BGM direta e mensurável para o período 2011/2012.

Para confirmar esses resultados, uma nova rodada de coleta de dados para período de 2012 foi desenvolvida. A **Tabela 31** apresenta os dados e resultados de 2012 para fluxos de massa e energia das operações de manufatura da GKN Driveline do Brasil.

Tabela31: dados coletados para fluxos de massa e energia – período 2012

	1. Energia elétrica	2. Resíduos metálicos	3. Água, produtos químicos de usinagem e efluentes	4. Óleos e óleos contaminados	5. Resíduos contaminados
Descrição dos principais fluxos de apoio:	1. Energia elétrica POA e CHQ	1. Resíduos metálicos (Chips) 2. Sucata (<i>Piercing</i> , barras, outros) 3. Iodo metálico	1. Água 2. Efluentes 3. Líquidos de resfriamento	1. Óleos (para máquinas, manutenção e proteção) 2. Resíduos de óleos (POA e CHQ)	1. Papel filtro contaminado 2. Graxa contaminada 3. Mangas contaminadas 4. Resíduos contaminados em geral (plástico, papel, outros)
Fluxos ambientais – medição física	82.808 Mwh	12.395Ton	1. Água: 114.410 m ³ 2. Efluentes: Eixo: 1.749m ³ Fosfato: 7.820m ³ FP: 1.044m ³ POA: 5.120m ³ 3. Líquidos de resfriamento Eixo: 15.900L Fosfato: 39.125L FP: 287.939L POA: 94.710L	1. Óleos: 712.127 L 2. Resíduos de óleos: 43.760 L	1. Total resíduos contaminados: 1.080 m ³ + 42.450 unidades de mangas
Estado atual Resultado de custo:	R\$20,74Mi	R\$41,52Mi	R\$6,46Mi	R\$3,731Mi	R\$0,95Mi
Indicadores de desempenho ambiental: (fluxo ambientais/ toneladas de partes)	1,40 Mhw/Ton	0,209 Ton /Ton	1,937 m ³ água/Ton 0,15 m ³ efluente POA /Ton	12,06 L oleo novo /Ton	0,017 m ³ /Ton

A **Figura 40** apresenta a análise comparativa de custo para fluxo de massa e energia que estão sendo estudados.

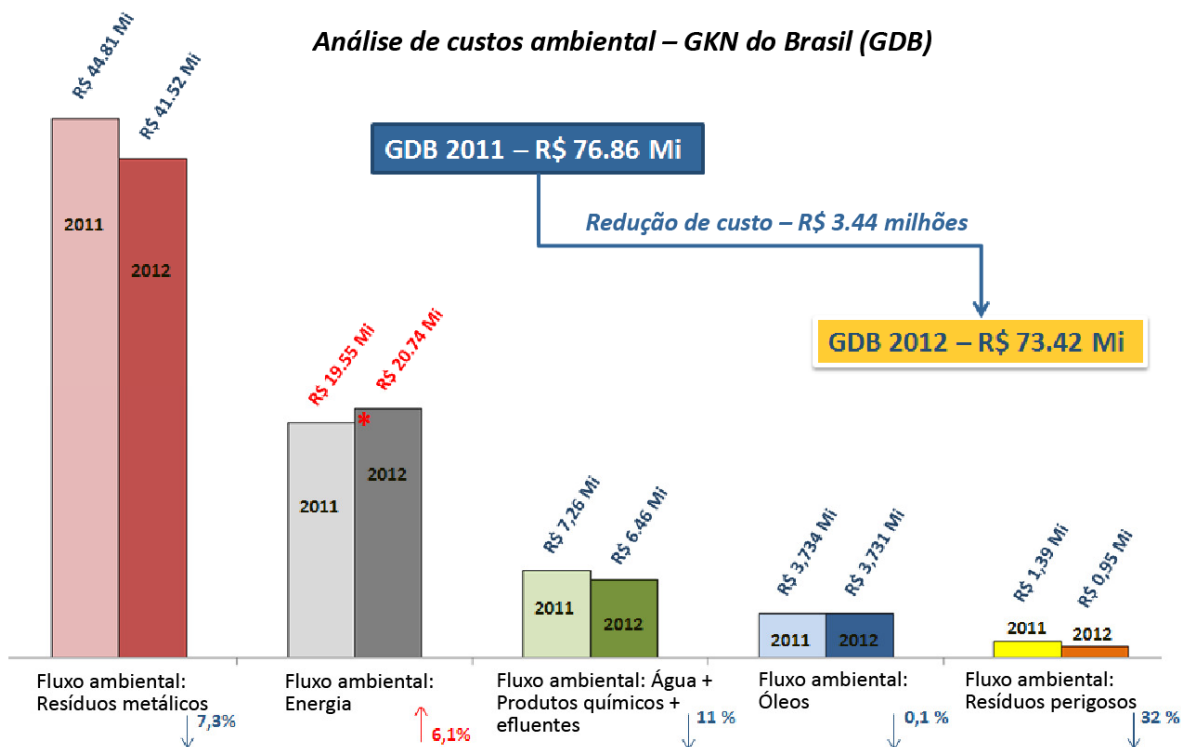


Figura 40: L&GBM para FV – análise de custo 2011 x 2012

A **Tabela 32** apresenta os resultados comparativos de indicadores de custo e ambientais para os períodos de 2011 e 2012.

Tabela 32: L&GBM para FV – Resultados comparativos de indicadores de custo e ambiental

	Energia	Resíduos metálicos	Água & efluentes	Óleos	Resíduos contaminados
Custo p/ 2011	R\$19,55Mi	R\$44,81Mi	R\$7,26Mi	R\$3,734Mi	R\$1,39Mi
Custo p/ 2012	R\$20,74Mi	R\$41,52Mi	R\$6,46Mi	R\$3,731Mi	R\$0,95Mi
% Melhoria	+6,1%	7,3%	11%	0,1%	32%
Desempenho ambiental 2011	1,506 Mhw/Ton	0,222 Ton /Ton	1,966 m3 água/Ton	12,77 L óleo novo /Ton	0,028 m3/Ton
Desempenho ambiental 2012	1,40 Mhw/Ton	0,209 Ton /Ton	1,937 m3 água/Ton	12,06 L óleo novo /Ton	0,017 m3/Ton
% Melhoria	7%	6%	2%	6%	40%

Como pode ser observado na **Figura 40** e na **Tabela 32**, o desempenho ambiental melhorou em todos os fluxos de valores após a implementação do L&GBM para um FV. No que diz respeito a custo, o único resultado pior foi a energia, mas neste caso, devido a um significativo aumento no preço das taxas de energia (mais de 20%). Na realidade, se a melhoria de desempenho devido à aplicação do L&GBM não fosse feita para o fluxo de apoio de energia, o resultado teria sido até pior. Todos os outros quatro fluxos de apoio, mesmo com o aumento no preço, a redução do consumo foi tão significativa que todos os quatro tiveram redução de custo significativo.

Com essa segunda rodada de coleta de dados, o segundo L&GBM para um *kaizen* de FV foi desenvolvido em novembro de 2012, seguindo a mesma estrutura apresentada na seção 5.7, com a participação de 30 pessoas, uma equipe multifuncional formada por especialistas técnicos e gerentes. Neste novo *kaizen*, os resultados (desempenho ambiental), projetos e economia de custo foram revisados, lições aprendidas foram levantadas e avaliadas e um novo plano de melhoria foi produzido para o período de 2013.

A equipe *kaizen* propôs um plano de 30 ações a ser acompanhado pela alta cúpula administrativa no decorrer de 2013, integrado ao sistema ISO 14001 (SGA) / sistema de melhoria contínua. Dezenove delas são novas ações, identificadas pela equipe durante o último *kaizen* para FV. Onze ações, originadas a partir do plano de 2011/2012, foram mantidas pela equipe para o período de 2013.

A aplicação do modelo também identificou três principais custos ambientais das operações da GKN Driveline do Brasil, que são: (1) resíduo metálico, (2) energia, (3) água e produtos químicos, demonstrando que uma abordagem preventiva em termos de melhorar a produtividade dos recursos nos processos de manufatura através da otimização do desempenho dos fluxos de apoio (consumo de materiais e energia) seria uma boa estratégia não só para reduzir o impacto ambiental dos processos de manufatura, mas também para melhorar o desempenho financeiro operacional.

O modelo também comprova que integrar o pensamento verde com uma abordagem operacional pode tornar os negócios mais competitivos. No caso da GKN Driveline do Brasil, a iniciativa *lean & green* trouxe uma economia direta de R\$ 2,513 Mi e economia não mensurável indireta (devido a melhor consciência ambiental e utilização de recursos) de R\$ 0,927M. Isto significa que a GKN Driveline do Brasil economizou R\$ 3,44Mi no período, através (1) da melhoria da produtividade dos recursos nos processos de manufatura e (2) da

redução do impacto ambiental nos processos de manufatura. Em outras palavras, isto significa que o custo ambiental foi reduzido em 4,5% no período.

Portanto, o L&GBM para um fluxo de valor confirmou todos os objetivos traçados para este teste, incluindo a confirmação dos pré-requisitos, o uso de *kaizens* de segundo nível para priorizar *lean & green kaizens* de fluxo nível 1, a identificação das oportunidades de melhoria por meio do trabalho em equipe, propondo um novo estado futuro e um plano de ação, e a ideia de integrar L&GBM para fluxo de valor a estrutura existente no local (planejamento estratégico, planos de melhoria, sistema ISO 14001).

O modelo pode ser considerado uma boa estratégia para (1) melhorar a produtividade dos recursos nos processos de manufatura através da otimização do desempenho de fluxos de apoio (consumo de materiais e energia e produção de resíduos) e para (2) reduzir o impacto ambiental nos processos de manufatura, através da redução dos resíduos ambientais gerados pela produção. Uma discussão mais detalhada sobre o modelo será apresentada no capítulo 7.

6.6 APLICAÇÃO DO L&GBM PARA UMA CÉLULA EM DIFERENTES AMBIENTES DE MANUFATURA

O teste-piloto apresentado neste projeto relacionado com a aplicação integral do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes de manufatura foi planejado para ser desenvolvido nas seguintes operações:

- GKN Aerospace, Reino Unido – Outubro, 2010
- GKN Land Systems, EUA – Maio e Agosto, 2011
- GKN Sinter Metals, EUA – Maio, 2010

As instalações participaram de maneira voluntária. Os objetivos principais do teste-piloto do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes de manufatura foram:

- Confirmar se o modelo de cinco fases proposto e a estrutura para o L&GBM para uma célula podem ser aplicados a qualquer tipo de negócio de manufatura;
- Confirmar os pré-requisitos, considerando diferentes ambientes de manufatura;
- Analisar possíveis economias em termos de melhorias ambientais e redução de custos após a aplicação do modelo;

- Revisar as formas de trabalho quando da aplicação do modelo em diferentes condições de negócios.

Os eventos *kaizens* piloto foram planejados para serem desenvolvidos no final de 2010 e 2011, seguindo o modelo de cinco fases descrito no capítulo 5. A ideia aqui é que, ao aplicar o modelo em diferentes tipos de células, com diferentes níveis de desenvolvimento *lean* através de eventos *kaizen* de equipe multifuncional garantiu-se que todos os membros da equipe foram totalmente envolvidos e tiveram a oportunidade de contribuir com suas ideias.

Embora a ideia inicial do projeto piloto fosse implementar o modelo de cinco fases integralmente nas três instalações, isso não foi possível. Todas as três instalações apresentaram problemas na realização de uma ou mais etapas do modelo, como apresentado abaixo:

- ***Kaizen* na Aerospace:** Foram implementados 100% das fases 1 a 4. Fase 5 (implementação do plano de ação) não foi realizada.
- ***Kaizen* nos Land Systems:** Foram implementados 100% das fases 1 a 4. Fase 5 foi implementada parcialmente;
- ***Kaizen* em Sinter Metals:** Foram implementados 100% das fases 1 e 2. Fases 3 a 5 não foram desenvolvidas e, em consequência, eles não têm um plano de ação a ser implementado.

A **Tabela 33** abaixo apresenta as características básicas das três células operacionais de manufatura da GKN onde foi planejado testar o modelo L&GBM para células assim como alguns resultados *kaizen* para as instalações de Aerospace e Land System.

Tabela 33: Características ambientais e de manufatura das células piloto onde foi planejado testar o L&GBM para células na GKN, incluindo a aplicação e avaliação pré-requisitos de células e alguns resultados

Características da manufatura	Aerospace	Land Systems	Sinter Metals
Período <i>Kaizen</i>	Out/10	Mai/11 e Ago/11	Mai/11
Local	Reino Unido	EUA	EUA
Natureza das operações	Usinagem de alumínio de peças para aviões	Usinagem de aço e montagem de peças para veículos <i>off-road</i>	Processos de tratamento térmico e sinterização de peças para aplicação industrial
CÉLULA principal Fluxos de massa e energia	Energia Produtos químicos/óleos Resíduos de alumínio	Energia Água Produtos químicos/óleos Resíduos metálicos Resíduos em geral e contaminados	Energia Água Gás endo Resíduos metálicos
Dados do estado real: Consumo de energia e materiais e produção de resíduos	Consumo de energia: Não avaliado devido a dificuldades na coleta e análise de dados de energia Uso de produtos químicos/óleos: 26 m ³ /mês Resíduos de Al: 35 Ton./mês	Os dados foram coletados corretamente, mas a instalação não forneceu os números	Não avaliado devido a dificuldades na coleta de dados ambientais
Análise dos pré-requisitos			
Nível do <i>Lean</i>	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento
Estabilidade do processo	Menor que 90%	90%	Menor que 90%
Aplicação das ferramentas de envolvimento de funcionários	Média	Em vigor	Média
Apoio de liderança	Médio	Em vigor	Médio
Consciência Ambiental	Em vigor	Em vigor	Em vigor
Uso de recursos	Muito alto	Médio	Alto
Estrutura para coleta de dados	Média	Média	Não existente
Custo total de fluxos de massa e energia (R\$ / Ano)	R\$ 11.759.400,00 /ano	Dados não disponíveis	Não avaliado
Maior impacto no custo ambiental da CÉLULA	Resíduo de Alumínio 98%	Dados não disponíveis	Não avaliado
Resultados do evento <i>Kaizen</i>:			
Redução de energia (%)	Não avaliado	5%	Não avaliado
Redução de água (%)	6%	2%	Não avaliado
Redução no consume de produtos químicos: (%)	10% (óleos)	15% (óleos)	Não avaliado
Total da redução de geração de resíduos: (%)	2%	7%	Não avaliado

O *kaizen* de Land Systems foi parcialmente implementado, mas a instalação não forneceu os números finais das suas realizações. Para os outros dois *kaizens*, o processo será analisado, porém os resultados da implementação não serão considerados, já que o plano de ação na instalação de Aerospace não foi implementado e o *kaizen* no Sinter Metal nem sequer aconteceu.

Seguindo nessa linha, é possível destacar e concluir os seguintes tópicos relacionados com a aplicação do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes empresariais:

- **No que diz respeito à confirmação de que o modelo de 5 etapas proposto e estrutura para o L&GBM para uma célula pode ser aplicado a qualquer tipo de negócio de manufatura:** Embora a aplicação não ter conseguido obter 100% de êxito em qualquer dos três casos, não foi por cada das características do próprio modelo, que era genérico para todas as instalações em que foi apresentado, mas devido às restrições das três empresas no cumprimento dos pré-requisitos do modelo.
- **Confirmação dos pré-requisitos, considerando diferentes ambientes de negócios:** Os pré-requisitos foram confirmados. Todas as exigências que não foram cumpridas pelas instalações tornaram-se obstáculos para a implementação do modelo.
- **Análise de possíveis economias em termos de melhorias ambientais e redução de custo após a aplicação do modelo:** Os dois *kaizens* desenvolvidos apresentaram ideias que representariam uma redução significativa de custos e melhoria da utilização de fluxos de massa e energia.
- **Revisão das formas de trabalho quando da aplicação do modelo em diferentes condições de negócio:** O modelo em si é direto e simples de ser implementado. Uma coisa importante a ser levada em consideração quando se aplica o modelo para outras empresas é ter certeza de que ele cumpre os sete pré-requisitos na íntegra.

Portanto, considerando-se estes resultados e as dificuldades na implementação do L&GBM em diferentes ambientes de manufatura, o importante a destacar é que o cumprimento dos sete pré-requisitos (processo estável, nível de implantação *lean*, uso de ferramentas de envolvimento dos trabalhadores já em vigor, apoio da liderança, consciência ambiental em vigor, uso intensivo de recursos e de estrutura para a coleta de dados) é a chave para seu sucesso e aplicação do modelo. Uma discussão detalhada sobre este processo será apresentada no capítulo 7.

CAPÍTULO 7: ANÁLISE DOS RESULTADOS DO L&GBM

A análise dos resultados alcançados com a aplicação do L&GBM apresenta neste projeto será examinada de acordo com a seguinte estrutura:

- (7.1) Análise das informações relacionadas à aplicação do L&GBM nas seguintes situações: (1) teste-piloto do L&GBM para uma célula, (2) implantação do L&GBM para uma célula, (3) L&GBM para células irmãs, (4) L&GBM para um fluxo de valor, (5) aplicação do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes de negócios;
- (7.2) Análise das informações comparando L&GBM com a literatura;
- (7.3) Resposta do L&GBM para as contribuições dos especialistas e acadêmicos.

7.1 ANÁLISE DAS CONCLUSÕES RELACIONADAS À APLICAÇÃO DO L&GBM

A **Tabela 34** apresenta algumas conclusões que as equipes tinham até agora relacionado com os resultados alcançados com a aplicação do L&GBM relacionados à (1) redução do impacto ambiental e aumento de produtividade na utilização dos recursos, (2) porcentagem de implementação do plano de ação, (3) porcentagem de redução de custos (4) total de economia direta de custos e (5) confirmação de pré-requisitos. Os dados usados para desenvolver estas conclusões são baseados nos resultados apresentados no Capítulo 6.

Tabela 34: Análise dos ciclos de melhoria do L&GBM

Análise do L&GBM	Resultados em termos de (1) redução do impacto ambiental (2) aumento da produtividade no uso dos recursos*	% de implementação do plano de ação	% redução de custo massa & energia	total de economia direta de custos do L&GBM	Confirmação dos 7 pré-requisitos
CICLO DE MELHORIA 1					
Análise da aplicação e resultados do teste-piloto do L&GBM para uma célula	Monobloco A: 50%	Monobloco A: 94%	Monobloco A: 13%	R\$ 294.000,00	SIM
	Montagem 20: 40%	Montagem 20: 81%	Montagem 20: 3%		
	Eixo A: 50%	Eixo A: 68%	Eixo A: 6,3%		
CICLO DE MELHORIA 2					
Análise da aplicação e resultados da implantação do L&GBM para uma célula	Tripeça A: 40%	Tripeça A: 86%	Tripeça A: 19%	R\$ 839.292,00	SIM
	JF C: 27%	JF C: 40%	JF C: 4%		
	FP B: 17%	FP B: 55%	FP B: 11%		
	Gaiola A: 31%	Gaiola A: 60%	Gaiola A: 4%		
	FP A: 34%	FP A: 58%	FP A: 2%		
	AIR A: 34%	AIR A: 50%	AIR A: 8%		
CICLO DE MELHORIA 3					
Análise da aplicação e resultados do L&GBM para células irmãs	Tripeça B_C: 31%	Tripeça B_C: 65%	Tripeça B_C: 3,5%	R\$ 57.687,00	SIM
	AIR B_C_D_E: 15%	AIR B_C_D_E: 14%	AIR B_C_D_E: 0,5%		
	AIR F_G_H_I: 15%	AIR F_G_H_I: 18%	AIR F_G_H_I: 1%		
CICLO DE MELHORIA 4					
Análise da aplicação e resultados do L&GBM para um fluxo de valor	Energia: 7%		Energia: +6,1% (aumento nas tarifas)	R\$ 1.590.000,00	SIM
	Resíduos metálicos: 6%		Resíduos metálicos: 7,3%		
	Água: 2%	21%	Água: 11%		
	Óleos: 6%		Óleos: 0,1%		
	Resíduos contaminados: 40%		Resíduos Contaminados: 32 %		
		Redução de massa & energia total (2011x2012) : 4,5%			
CICLO DE MELHORIA 5					
Análise da aplicação e resultados do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes de manufatura	Engenharia Aeroespacial - 6%	Engenharia Aeroespacial - 0%	Engenharia Aeroespacial - 0%	não foi possível calcular	SIM
	Land Systems -7%	Land Systems – não informado	Land Systems – não informado		
	Sinter Metals - <i>Kaizen</i> não foi desenvolvido	Sinter Metals - <i>Kaizen</i> não foi desenvolvido	Sinter Metals - <i>Kaizen</i> não foi desenvolvido		

*para nível de célula = resultados *Kaizen* / Para nível de FV = resultados medidos

Com base no que é apresentado na **Tabela 34**, o que pode ser concluído até agora é que:

- Em termos de redução do impacto ambiental e aumento da produtividade na utilização de recursos para as células que cumpriram todos os pré-requisitos do modelo, a aplicação do L&GBM para uma célula é capaz de reduzir em 35% a utilização de recursos, em média. Para o caso das células irmãs, o modelo é capaz de reduzir em 20% o uso de recursos. O L&GBM para um FV, comparando o desempenho ambiental de 2011 com o de 2012, confirmaram melhorias de 12% no FV em termos de redução do impacto ambiental e aumento da produtividade no uso dos recursos.
- Em termos de redução de custos, com uma média de implementação de 65% dos planos de melhoria, os resultados mostram uma possibilidade de redução de 8% do custo total com fluxos de massa e energia após a aplicação do L&GBM para uma célula. Para a aplicação do L&GBM para células irmãs, este resultado é limitado a apenas 2% da possibilidade de redução de custo. Para o nível de fluxo de valor, 21% dos planos de ação implementados, geraram economia direta de custos de R\$ 1.590.000,00 e uma redução total de massa e energia (2011 x 2012) de 4,5%. Em termos de economia direta de custos, estes quatro ciclos e melhorias L&GBM renderam sozinhos uma economia total de R\$ 2.780.979,00.
- Em termos de confirmação dos pré-requisitos do modelo, o teste-piloto, a implantação do modelo para uma célula e a aplicação do modelo para uma célula em outros negócios de manufatura confirmam os pré-requisitos do L&GBM para célula. As células que cumpriram os sete pré-requisitos alcançaram resultados melhores. Os *kaizens* desenvolvidos fora do Brasil que fracassaram não tiveram o apoio de liderança adequado em vigor e um bom nível de implementação *lean*. Além disso, nenhum deles tinha uma estrutura para coleta de dados. Para o L&GBM, os dados nos contam a história, por isso preparação preliminar e coleta de dados são pontos fundamentais e devem ser desenvolvidos adequadamente, a fim de se obter bons resultados durante o evento *kaizen*. A maioria dos eventos desenvolvidos fora do Brasil sofreu com falta de recursos e estrutura para o desenvolvimento de fases 3 e 4 do L&GBM para uma célula. Portanto, um novo pré-requisito relacionado com a coleta de dados foi introduzido para melhorar o modelo. Os pré-requisitos do L&GBM também foram confirmados para o modelo para células irmãs e para o nível de fluxo de valor.

A **Tabela 35** mostra a identificação das principais conclusões, oportunidades de melhoria do modelo, bem como as mudanças desenvolvidas ao longo da pesquisa, a fim de incorporar as oportunidades de melhoria ao modelo original para todos os cinco ciclos de melhoria.

Tabela 35: Principais conclusões dos ciclos de melhoria e oportunidades de melhoria

	PRINCIPAIS CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES	OPORTUNIDADES DE MELHORIA	AÇÕES ADOTADAS
<p>CICLO DE MELHORIA 1 Análise do teste-piloto do L&GBM para uma célula</p>	<p>1. Confirmação de todos os pré-requisitos: Célula é um bom ponto de partida para uma intervenção Lean & Green: Onde as coisas estão acontecendo, onde as pessoas podem “tocar” o fluxo de produção e podem facilmente ver os fluxos de apoio (fluxos de massa e energia);</p> <p>2. Estabilidade lean, nível de desenvolvido é um bom ponto de partida;</p> <p>3. Apoio à gestão é chave: para o desenvolvimento do <i>kaizen</i> e para implementação de plano de ação;</p> <p>4. Abordagem kaizen é bem-sucedida para melhoria ambiental: Esforço de equipe <i>bottom-up</i>; Uso do envolvimento dos funcionários elevou o entendimento ambiental das pessoas a um nível muito mais elevado;</p> <p>5. Lean & Green é uma excelente estratégia de prevenção de poluição: Capaz de reduzir a energia em cerca de 10% e materiais e resíduos em cerca de 50%.</p>	<p>1. Envolvimento de especialistas-chave: Necessidade de participação da contabilidade – Para consolidar os resultados financeiros; Necessidade de conhecimentos específicos para o funcionamento do <i>kaizen</i> – instalações, meio ambiente, manutenção, engenharia – devem fazer parte das equipes <i>kaizen</i>, para apoiar o desenvolvimento de ideias;</p> <p>2. Implementação de estratégia de acompanhamento de planos de ação: Necessidade de definir responsabilidades e prazos dentro da equipe antes do <i>kaizen</i> ser concluído, a fim de ter uma melhor implantação do processo de implementação do plano de ação; Necessidade de manter processo de comunicação após <i>kaizen</i> ser finalizado;</p> <p>3. Estratégia para células irmãs: Necessidade de estabelecer estratégias de divulgação dos resultados a outras células semelhantes sem perder aprendizagem ambiental do <i>kaizen</i>.</p>	<p>1. Definição de uma lista de especialistas-chave a ser envolvidos durante os kaizens (contabilidade, instalações, meio ambiente, manutenção, engenharia);</p> <p>2. Definição de uma estratégia para acompanhamento de plano de ação;</p> <p>3. Criação do L&GBM para células irmãs;</p> <p>Todas essas ideias já foram implementadas e testadas na aplicação do modelo <i>lean & green</i>: (1) implantação, (2) células irmãs e. (3) teste do modelo em diferentes ambientes de manufatura.</p>
<p>CICLO DE MELHORIA 2 Análise da implantação do modelo L&GBM para uma célula</p>	<p>1. Confirmação dos pré-requisitos: Estabilidade lean e nível de implantação é chave para lean & green: <i>Kaizens</i> não devem ser desenvolvidos em células que não possuam nível de implantação <i>lean</i>; Desenvolvimento de <i>kaizens</i> em células que não apresentam um bom nível de <i>lean</i> comprova que isso precisa estar em vigor para iniciar o <i>lean & green</i>;</p> <p>2. Para o fluxo nível 1, o modelo é mais dependente do lean (agentes de mudança) do que de especialista ambiental; Ações de melhoria são mais simples.</p>	<p>1. Definição das expectativas lean & green – design do sistema: Necessidade de definir um design de sistema/expectativas para <i>lean & green</i> - (1) OUTPUT (2) CAMINHO (3) CONEXÕES (4) SW (trabalho padrão);</p>	<p>1. Foi criado o design do sistema (expectativas) para L&GBM para uma célula;</p> <p>Esta ideia foi implementada; resultados melhores foram confirmados no em 2012.</p>

(Continua)

(Continuação)

	CONCLUSÕES PRINCIPAIS E OBSERVAÇÕES	OPORTUNIDADES DE MELHORIA	AÇÕES ADOTADAS
<p>CICLO DE MELHORIA 3 Análise do modelo L&GBM para células irmãs</p>	<p>1. Confirmação dos pré-requisitos do modelo;</p> <p>2. Apresenta os piores resultados – Embora mantenha o envolvimento dos funcionários, a ideia de desenvolver um <i>kaizen</i> menos complicado, com menos envolvimento de peritos e menos aplicação de recursos não mantém o mesmo nível de custos e melhoria ambiental obtido pelo L&GBM para uma célula;</p>	<p>1. Nenhuma</p>	<p>1. Lideranças devem estar cientes de que um <i>kaizen</i> menos complicado pode não produzir os mesmos resultados de custo e ambientais. Este modelo não foi aplicado em nenhuma outra célula em 2012.</p>
<p>CICLO DE MELHORIA 4 Análise do L&GBM para um fluxo de valor</p>	<p>1. Confirmação dos pré-requisitos, especialmente relacionados com foco e preocupação ambiental: L&GBM para um foco ambiental de fluxo de valor é mais elevado; L&GBM para um fluxo de valor exige um nível mais alto de entendimento e competência ambiental a fim de desenvolver a análise, o <i>kaizen</i> e definir o plano de ação; Assim, a linguagem ambiental precisa ser traduzida para a manufatura; Entender sobre quais são os principais fatores é a chave aqui;</p> <p>2. No nível de fluxo de valor, os dados contam a história;</p> <p>3. Para a análise de fluxo de valor, para uma perspectiva ambiental, deve ser um impacto ambiental com base local e não apenas o impacto de um fluxo de valor; Existe um conjunto de impactos ambientais que pode criar um sistema de interferência alterando o impacto global; assim, pensamento tradicional do modelo de fluxo de valor (dividido por famílias de produtos) não é aplicável, porque não vai considerar o impacto global sobre o ambiente e a combinação de efeitos ambientais.</p>	<p>1. Estratégia de revisão ambiental da fábrica para um fluxo de valor: Necessidade de criar um padrão para análise do L&GBM para fluxo de valor para traduzir a linguagem ambiental para os termos de manufatura;</p>	<p>1. Uma estratégia para revisão ambiental da fábrica para L&GBM para um fluxo de valor; Esta ideia já foi implementada em 2012.</p>

(Continua)

(Conclusão)

	CONCLUSÕES PRINCIPAIS E OBSERVAÇÕES	OPORTUNIDADES DE MELHORIA	AÇÕES ADOTADAS
<p>CICLO DE MELHORIA 5 Análise do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes de manufatura</p>	<p>1. Confirmação de todos os pré-requisitos: (1) nível de implantação <i>lean</i> é crítico; (2) estabilidade operacional é um requisito fundamental; (3) apoio de lideranças é crítico ao longo de todas as oito etapas do desenvolvimento do modelo; (4) <i>Top down e bottom up</i> necessários para o sucesso;</p> <p>2. Lean & Green deve ser a continuação da cultura de melhoria contínua: Não deve ser vista como uma iniciativa nova – deve ser integrada a estrutura <i>lean</i> em vigor;</p> <p>3. O envolvimento de especialistas: Apoio do financeiro e outras funções básicas é chave.</p>	<p>1. Falta de estrutura de coleta de dados: Para <i>Lean & Green</i>, os dados contam a história, então preparação preliminar e coleta de dados são etapas essenciais e devem ser desenvolvidas adequadamente a fim de obter bons resultados durante o evento <i>kaizen</i>; a maioria dos eventos desenvolvidos fora do Brasil fracassaram devido a falta de apoio, recursos, estrutura para desenvolver etapas 3 e 4 do L&GBM para uma célula.</p>	<p>1. Um novo pré-requisito relacionado à coleta de dados deve ser introduzido ao L&GBM</p> <p>Esta ideia foi implementada e testada no decorrer de 2012. O modelo apresentado no capítulo 5 considera este novo pré-requisito.</p>

Portanto, a partir do que foi apresentado nas **Tabelas 34 e 35**, pode-se tirar as seguintes conclusões sobre a aplicação L&GBM e os resultados até agora:

- **Resultados que confirmam os objetivos do L&GBM: (1) redução do impacto ambiental, (2) aumento da produtividade no uso dos recursos:** Como mostrado na **Tabela 34**, em termos de redução do impacto ambiental e aumento da produtividade no uso de recursos, para os níveis 1 e 2 de fluxo que cumpriram todos os pré-requisitos do modelo, a aplicação do L&GBM para uma célula é capaz de reduzir, em média, 35% do uso dos recursos. Para o caso das células irmãs, o modelo é capaz de uma redução de 20%. No nível de fluxo de valor, o modelo é capaz de reduzir 21% do uso dos recursos.
- **Resultados que confirmam a possível economia de custo do L&GBM:** Como mostrado na **Tabela 34**, em termos de redução de custos, os resultados mostram uma possível redução de 2 a 8% do total de custos com fluxos de massa e energia (**8% para células, 2% para células irmãs e 4,5% para nível de fluxo de valor**). Em termos de economia direta de custos, esses quatro ciclos de melhorias do L&GBM produziram, sozinhos, uma economia total de R\$ 2.780.979,00. Cagno et al. (2005) analisaram produção mais limpa e rentabilidade com base em 134 projetos de prevenção de poluição industrial. Para o setor automotivo, que inclui empresas

como a Chrysler, Ford e General Motors, a média de economia anual obtida foi de US\$ 318.500/ano (cerca de R\$ 636.000,00). Isto representa apenas 20% da economia possível sob o L&GBM. Além disso, o pensamento *lean* tradicional considera apenas a redução dos sete resíduos clássicos. Com a introdução do interesse com a variável ambiental junto com o fluxo de valor, o L&GBM comprova que outras fontes de resíduos podem ser focalizadas e reduzidas, deste modo maximizando a economia total. Como já mencionado no capítulo 5, a lógica original não leva em consideração as outras fontes de custos que fazem parte do processo de manufatura, os resíduos ambientais (consumo de matérias e energia e geração de resíduos) e que não são considerados no modelo original de Rich. Portanto, o L&GBM é construído com base no modelo de Rich, acrescentando uma variável extra, capaz de promover excelência na manufatura e redução de custo, a variável ambiental.

- **Resultados que confirmam os pré-requisitos:** Um número de variáveis pode ser considerado quando da aplicação do modelo. O teste-piloto, a implantação do modelo e a aplicação para outros negócios fora do Brasil confirmaram os pré-requisitos previstos. Os seguintes atributos devem estar em vigor para aplicar o L&GBM: (i) um processo estável, com registros de entrega acima de 90%, (ii) um nível suficiente de implantação em termos do uso e aplicação das ferramentas *lean*, (iii) sistemas de EF (Envolvimento dos Funcionários) em vigor, (iv) uma equipe de gerenciamento de apoio, (v) conscientização ambiental dos membros, (vi) uso significativo dos recursos naturais e (vii) estrutura de coleta de dados. As células que preencheram esses pré-requisitos, incluindo um nível de implantação suficiente em termos de aplicação das ferramentas *lean* e um processo estável, alcançaram resultados melhores.

- **Oportunidades de melhoria que propuseram alterações nos pré-requisitos:** Conforme mostrado na **Tabela 35**, seguindo os resultados da aplicação do L&GBM para uma célula em diferentes ambientes de manufatura, um novo pré-requisito relacionado à coleta de dados foi inserido ao L&GBM para lidar com o que foi encontrado após o teste-piloto.

- **Oportunidades de melhoria que propuseram alterações gerais no modelo e estrutura *kaizen* e aplicação:** Como mostrado na **tabela 35**, as oportunidades de

melhoria gerais foram identificadas após cada ciclo de melhoria desenvolvido. Todas elas já foram implementadas e testadas no decorrer de 2012.

Depois de uma avaliação completa destes resultados, é possível confirmar que o L&GBM é um exemplo bom e prático de como as “formas de trabalho” *lean*, com base no espírito *kaizen* de participação das pessoas, pode apoiar uma manufatura sustentável.

7.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS COMPARANDO O MODELO L&GBM COM A LITERATURA

Na sequência dos resultados práticos e do modelo apresentados no capítulo 5, a seguir é apresentado um resumo das diferenças entre os propósitos e princípios por trás do pensamento *green* puro, pensamento *lean* puro e o L&GBM, confirmando a diferença do modelo desenvolvido a partir de outras abordagens e de práticas *lean* pura e/ou práticas *green* puras, como produção mais limpa e eco eficiência:

- **O modelo L&GBM completa plenamente o pensamento *lean* e o pensamento *green*,** reunindo os princípios fundamentais das filosofias *lean* [ou seja, os cinco princípios-chave (Womack e Jones, 1998)] e *green* [(i) melhorar o uso dos recursos naturais e (ii) reduzir o impacto ambiental (MOREIRA et al., 2010)] para criar um modelo único e integrado.
- **O modelo L&GBM introduz uma nova dimensão ao pensamento *lean* tradicional: preocupações ambientais.** O pensamento *lean* tradicional tem seu foco nas quatro dimensões: segurança, qualidade, entrega e custo (BICHENO, 2000). O L&GBM insere a preocupação ambiental exigindo (i) o uso produtivo dos recursos, (ii) uma redução do impacto ambiental e (iii) e uma consciência ambiental juntamente com fluxo de valor.
- **O L&GBM é um modelo que tem a intenção de motivar uma transição conceitual:** Conceitos anteriores, tais como pensamento *lean & green* puro, são a base. Enquanto integra tais conceitos, o L&GBM propõe a criação de um novo modelo onde (1) a produtividade no uso de recursos naturais, (2) redução de impacto, (3) consciência ambiental, (4) economia financeira, (5) envolvimento das pessoas e (5) liderança, originalmente derivadas de diferentes fontes, estão agora ligadas como blocos básicos de uma nova maneira de pensar. À medida que o tempo passa, o L&GBM busca não só a integração do social, ambiental e financeiro, mas

também equidade, valor justo, importância e prioridade para todos os seus vetores, promovendo a conectividade dentro e fora do sistema.

- **O L&GBM tem seu próprio objetivo:** “Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício e impacto ambiental e máxima produtividade no uso dos recursos naturais”.
- **O L&GBM tem seus próprios princípios:** (1) identificar um fluxo de valor estável (níveis 1, 2 e 3); (2) identificar no fluxo de valor os aspectos e impactos ambientais; (3) medir impactos ambientais e o uso dos recursos naturais do fluxo de valor; (4) identificar as alternativas para (i) redução do impacto e (ii) produtividade de recursos no fluxo de valor; (5) buscar a perfeição – melhoria contínua.
- **O L&GBM tem a sua própria forma de trabalho:** o L&GBM será integrado como parte do processo de melhoria contínua de um processo de manufatura, onde a filosofia *lean* e formas de trabalho já estão em vigor. Neste contexto, os objetos de estudo do L&GBM são os fluxos de massa-energia dos processos de manufatura e o resultado esperado para a aplicação do modelo é a realização de melhorias nestes fluxos (matérias, produtos químicos, água, resíduos, efluentes, energia), contribuindo para a melhoria do desempenho global.
- **O L&GBM tem o foco em fontes de economia não tradicionais:** O pensamento *lean* tradicional considera apenas reduções dos sete desperdícios clássicos do *lean* (superprodução, espera, transporte, processamento inadequado, estoque desnecessário, movimentação desnecessária ou em excesso e defeitos). Com a introdução do interesse com a variável ambiental junto com o fluxo de valor, outras fontes de desperdício identificadas durante análise dos fluxos de apoio de produção (energia, materiais, água, etc.) podem ser definidas e reduzidas, assim maximizando a economia total. Esta ideia apoia o estudo de Moreira et al. (2010), que explora outras fontes de desperdício, impactos ambientais, uso de energia, consumo de materiais e emissões para mostrar que os resíduos ambientais estão escondidos dentro dos sete desperdícios clássicos de produção (OHNO, 1988).
- **O L&GBM prioriza a estabilidade da manufatura e um foco no cliente:** A primeira etapa implica em entregar o que o cliente quer, especificar o valor do cliente e então identificar os fluxos de valor, desse modo fazer fluxo de valor na influência do cliente. O nome L&GBM sugere que é necessário ser *primeiro lean*. Portanto, um nível

suficiente de implantação *lean* é essencial para a implementação do L&GBM. Esta ideia apoia o estudo de Dues et al. (2012), que concluíram que o ambiente *lean* serve como catalizador para facilitar a sustentabilidade ambiental.

- **O L&GBM, assim, exige certo nível de estabilidade de manufatura e implantação *lean* antes de ser introduzido.** Outras práticas ambientais, tais como produção mais limpa (CAGNO et al., 2005) e eco eficiência (KORHONE, 2007), não levam esses pré-requisitos em consideração.
- **Tal como acontece com outras práticas ambientais, o L&GBM tem o claro objetivo de melhorar o uso dos recursos naturais e reduzir o impacto ambiental** (MOREIRA et al., 2010). Neste caso, a diferença entre o L&GBM e outras práticas ambientais é a abordagem adotada pelo L&GBM para implementar as práticas ambientais. Tanto a produção mais limpa quanto a eco eficiência tem o foco na análise do fluxo de materiais e energia em uma empresa para identificar oportunidades de melhoria, tais como o menor uso de recursos; a minimização do desperdício, emissão e poluição; e a maximização do resultado do produto. Nem a produção mais limpa nem a eco eficiência tem o foco nas abordagens de manufatura para fluxos de valor e manufatura (WOMACK e JONES, 1998) para obter seus objetivos. O L&GBM identifica e mede aspectos e impactos ambientais bem como entradas e saídas, com base nos fluxos de valor da manufatura e respeitando o real fluxo de valor. A aplicação do L&GBM torna mais fácil coordenar as métricas de desempenho ambiental e de produção em um sistema único e integrado.
- **O L&GBM tem o foco em uma abordagem *top-down* e *bottom-up* simultânea para implantar melhorias ambientais contínuas.** Todas as oportunidades de melhoria que são identificadas pelo Modelo *Lean & Green* usando a abordagem *kaizen* (BERGER, 1997) estão diretamente integradas na melhoria contínua da estrutura já existente devido à implantação do *lean*.

Depois de uma avaliação completa destes resultados, é possível demonstrar que o modelo L&GBM é diferente do pensamento *green*, pensamento *lean* puro e outras abordagens existentes; é um modelo que integra plenamente o pensamentos *lean* com o pensamento *green*, mesclando os princípios fundamentais, introduzindo uma nova dimensão ao pensamento *lean* tradicional e motivando uma transição conceitual entre ambos os conceitos de forma a alcançar a sustentabilidade.

7.3 RESPOSTA DO L&GBM PARA AS CONSIDERAÇÕES DOS ESPECIALISTAS

O Capítulo 4 apresentou o modelo de pesquisa aplicado para desenvolver o L&GBM. Definido como pesquisa-ação ou pesquisa de ação participativa, a fim de reunir todas as ideias que criaram o L&GBM, o modelo foi revisto sucessivamente em um processo reflexivo de solução de problemas, com o apoio de negócios globais e especialistas acadêmicos.

Durante a fase de seminário, já apresentada no capítulo 4, diversas considerações e questões foram levantadas tanto por negócios e especialistas ambientais de todo o mundo e acadêmicos. Agora que o L&GBM e seus resultados já foram apresentados, esta seção é dedicada a revisar e responder aquelas considerações e mesmo algumas outras que apareceram durante a jornada. A **Tabela 36** destaca as principais questões vindas dos acadêmicos.

Tabela 36: Questões-chave dos acadêmicos para o L&GBM

Inputs / Feedback dos Acadêmicos	Questões gerais para aperfeiçoar o L&GBM
<p>Quais são as reais diferenças entre os modelos <i>lean</i> puro, <i>green</i> puro e L&GBM? “Que os pensadores <i>lean</i> tendem mais facilmente em direção ao <i>green</i> do que pensadores verdes entendem o <i>lean</i> corresponde a minha experiência subjetiva, mas não tenho dados”. “Quase todos conceituam primeiro um novo paradigma como um novo conjunto de técnicas. Isso é certamente verdade para <i>lean</i>. Usar as técnicas para criar uma cultura totalmente nova de pensamento inclui consciência (<i>o estado de ser acordado e consciente de seus arredores</i>) mais tarde. (Nós buscamos o <i>lean</i> mais no Ocidente por 30 anos, mas foi só nos últimos anos que esse aspecto se tornou um tópico de grande interesse em conferências).”¹</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qual é a diferença entre L&GBM e eco eficiência e produção mais limpa? 2. É possível para uma empresa tornar-se completamente <i>green</i> ou mais <i>green</i>? 3. Se <i>lean</i> serve como um catalisador para o <i>green</i>, ele funciona ao contrário? É mais fácil para empresas <i>green</i> se tornarem <i>lean</i>? Empresas <i>green</i> já estão automaticamente no caminho “<i>lean</i>”?
<p>Quais são os pré-requisitos do L&GBM?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 4. Quais são as variáveis que precisamos estar atentos quando da aplicação de tal metodologia? Como elas influenciam sua aplicabilidade? 5. Limites estão faltando, por exemplo, é aplicável em qualquer lugar? O que um usuário em potencial precisa estar ciente quando se aplica a metodologia proposta? Qual é o possível futuro desenvolvimento de tais métodos? 6. Quais são os blocos básicos de construção do L&GBM?

(Continua)

¹ HALL, R. Doc’s feedback on the L&GBM. E-mail recebido em 14 de novembro de 2012.

(Conclusão)

Inputs / Feedback dos Acadêmicos	Questões gerais para aperfeiçoar o L&GBM
<p>Quais são as dimensões do L&GBM?</p>	<p>7. “<i>Lean & Green</i> prioriza a maximizar valores e reduzir custos” – Como esta abordagem é diferente da <i>lean</i> pura? Se você argumentar que acrescenta uma dimensão ambiental, esta característica torna-se semelhante para a próxima que você tenha listado (“<i>Lean & green</i> introduz ao pensamento <i>lean</i> tradicional uma nova dimensão – o aspecto da preocupação ambiental”).²</p>
<p>Qual é o principal objetivo do L&GBM? Concepção e transição.</p> <p>“Duas frases que surgem atraindo as pessoas ao Pensamento <i>Compression</i>: “Faça melhor utilizando muito menos”, ou “Viva melhor com muito menos”. Elas sugerem que usar muito menos recursos ajuda a garantir um planeta mais sustentável no qual podemos aproveitar um pouco a vida, e não apenas lutar para sobreviver. Isso define uma meta, que é necessária para <u>motivar a ação</u>, mas desprovido (<i>totalmente inexistente ou livre de</i>) de conteúdo. Um guia para tomar medidas requer um modelo mais amplo, porque estamos tentando mudar <u>hábitos de pensamento</u>, e isso exige conhecimento, bem como a motivação. Para lidar com isso, o mesmo está em breve de volta para lidar com ideias pré-concebidas.” “<u>Acho que o L&GBM é modelo para motivar a transição conceitual</u>. Conceitos anteriores são obstáculos, alguns dos quais devem ser deixados para trás para entrar em um trem se movendo por um caminho diferente, e alguns dos quais podem ser movidos para o novo trem. Este processo de aprendizagem leva tempo”.²</p>	<p>8. Quais são as ideias pré-concebidas que estamos tentando mudar com o L&GBM?</p> <p>9. O que significa ser um modelo que motiva a transição conceitual?</p> <p>10. Qual é o novo paradigma que o L&GBM está tentando contextualizar?</p>
<p>Qual é o nível de liderança exigido pelo L&GBM?</p> <p>“Você está tentando atrair os pensadores <i>lean</i> para também tornar-se pensadores de sustentabilidade, e revelar (<i>tornar informações anteriormente desconhecidas ou secretas conhecida para outros</i>) para pensadores <i>green</i> como o pensamento <i>lean</i> contribui para seus objetivos. Um pensador <i>lean</i> é estender (fazer mais longo ou mais largo) em conceitos maiores e um horizonte muito mais longo.”</p> <p>“Pesquisa considerável além do pensamento <i>lean</i>, mais a experiência <i>lean</i> mostra que a mudança do pensamento das pessoas (cultura) tem que ir além da compreensão mental. Conversão tem que mudar hábitos de pensar. Por exemplo, em uma fábrica <i>lean</i>, devemos aprender a observar o 5S, trabalho em células, solução de problemas dentro de uma estrutura PDCA, etc. Mas antes que possamos abraçar isso plenamente, temos de estar confiantes de que nosso esforço vai realmente resultar em melhoria de processos – que podemos fazer uma diferença significativa. E para isso, nós geralmente precisamos de um conceito diferente de liderança”.²</p>	<p>11. Como L&GBM está atraindo pensadores <i>lean</i> e pensadores <i>green</i>?</p> <p>12. Qual é o tipo de liderança para o L&GBM?</p>

² HALL, R. Doc’s feedback on the L&GBM. E-mail recebido em 14 de novembro de 2012.

Como mencionado anteriormente, os objetivos principais do seminário foram (1) identificar as considerações dos acadêmicos para o L&GBM. A **Tabela 36** destacou as questões mais importantes dos acadêmicos com respeito ao L&GBM. A **Tabela 37** apresentada abaixo destaca e responde as vinte questões-chave levantadas tanto pelos especialistas mundiais quanto pelos acadêmicos com respeito ao L&GBM e sua aplicação.

Tabela 37: Resposta do L&GBM para inputs dos especialistas

Fonte do input	Principais questões	Como o L&GBM está abordando isso?
Especialistas ambientais da GKN Global	1. Necessidade de apoio da gerência	Apoio das lideranças é o 4º pré-requisito para a implementação do L&GBM
Especialistas ambientais da GKN Global	2. Necessidade de recursos	Estrutura para coleta de dados em vigor é o 7º pré-requisito para a implementação do L&GBM. <i>Lean & Green</i> é dependente dos dados: Como em muitas práticas ambientais sustentáveis, como produção mais limpa, para o L&GBM os dados contam a história, por isso o trabalho preliminar e coleta de dados são passos fundamentais e devem ser desenvolvidos adequadamente, a fim de obter bons resultados durante o evento <i>kaizen</i>
Especialistas ambientais da GKN Global	3. Necessidade de implementadores e especialistas	Para fluxo nível 1, o L&GBM para uma célula é mais dependente do <i>lean</i> (agentes de mudança) do que do especialista ambiental: Ações de melhoria são mais simples. Então, para este caso, a estrutura <i>lean</i> já existente pode suprir esta lacuna. O L&GBM para um fluxo de valor exige um nível mais alto de entendimento e competência ambiental para desenvolver a análise, o <i>kaizen</i> e estabelecer um plano de ação. Portanto, neste caso, será necessário o apoio de especialistas.
Especialistas ambientais da GKN Global	4. Necessidade de priorização	O L&GBM tem uma abordagem <i>Lean para green</i> : a aplicação deve ser a continuação, um segundo passo na melhoria contínua / cultura <i>lean</i> já em vigor. Então, a partir de uma perspectiva de negócios, só deve ser priorizado, se a empresa já atingiu um certo nível na sua jornada <i>lean</i> (melhoria contínua) e é capaz de satisfazer todos os pré-requisitos do modelo.
Especialistas ambientais da GKN Global	5. Acesso tecnológico	O L&GBM para uma célula não implica em grandes alterações na tecnologia. Em vez disso, o modelo se concentra em mudanças de eficiência comportamentais e operacionais (vários exemplos apresentados no capítulo 6). Acesso à tecnologia deve ser analisado quando da expansão do modelo para segundo ou terceiro nível de fluxo, como mostrado na seção 6.4. Os projetos que são implementados no nível FV exigem um maior nível de tecnologia e conhecimento e isso pode ser uma barreira, dependendo de onde o modelo é implementado.
Especialistas ambientais da GKN Global	6. Necessidade de lidar com diferenças no mundo todo	Já que a aplicação global do L&GBM foi limitada, essa pergunta não poderia ser respondida totalmente e isso é uma limitação para este estudo.

(Continua)

(Continuação)

Fonte do input	Principais questões	Como o L&GBM está abordando isso?
Acadêmicos	7. Uma abordagem <i>lean</i> para verde é melhor do que apenas ser <i>green</i> ?	<p>A resposta com base nos resultados obtidos a partir de todos os testes para este caso é positivo. No modelo, pode ser traduzido nos dois primeiros pré-requisitos apresentados: (1) A célula tinha um nível de implantação na aplicação de ferramentas <i>Lean</i> e (2) um processo estável. Os resultados apresentados mostraram que as células que tinham um nível de implantação na aplicação e uso de ferramentas <i>lean</i> não só obtiveram melhores resultados para a melhoria de seus fluxos de massa e energia, mas também foram capazes de implementar mais rapidamente os planos de ação. No teste-piloto, Monobloco A e Montagem 20 propuseram uma redução média de 40% a 50% no uso da energia e materiais após a aplicação do L&GBM. Se considerarmos o caso da Montagem 20, embora os números de redução de custos não fossem muito altos, o trabalho em uma abordagem <i>Kaizen</i> propôs ações que foram capazes de reduzir em 50% o uso de panos de limpeza e em 100% a graxa desperdiçada. Isto representa que <i>Lean</i> para <i>green</i> é melhor do que apenas ir <i>green</i>. Tudo isso significa que o uso de uma cultura de melhoria de produção existente pode ser uma excelente estratégia de prevenção da poluição. Respeitando as formas de trabalho da manufatura e mentalidade aqui representada pela cultura do pensamento <i>lean</i> e usá-lo em prol do meio ambiente podem ser uma boa estratégia para a consolidação do conceito de sustentabilidade no chão de fábrica, onde as questões sobre lucro, pessoas e planeta são igualmente equilibradas.</p>
Acadêmicos	8. É melhor do que apenas ser <i>lean</i> ?	<p>A resposta a esta pergunta também é positiva. Ao aplicar o L&GBM foi possível não só melhorar o desempenho ambiental (de 12 para 35% em média), mas também identificar e eliminar outras fontes de resíduos que o pensamento <i>lean</i> tradicional não enfoca. Esta fonte adicional de redução de custo representa uma redução de 2 a 8% do custo total do fluxo de massa e de energia de um processo de manufatura.</p>
Acadêmicos	9. É melhor do que apenas ser <i>green</i> ?	<p>A resposta a esta pergunta é positiva também. A maioria das práticas ambientais enfocam os mesmos objetos de estudo: melhorar desempenho dos fluxos de massa e energia e redução do impacto. A diferença, se comparadas às práticas <i>green</i> puras com o L&GBM não é o que fazer, mas como fazê-lo. Kiperstok (2000) uma vez disse: “<i>Se as práticas de produção mais limpa são tão obviamente um senso comum, por que não ocorrem naturalmente na indústria?</i>”</p> <p>Práticas <i>green</i> tradicionais disputam os mesmos recursos, tempo e espaço que a manufatura. Eles querem ser priorizados, substituindo outras iniciativas de melhoria contínua. O L&GBM não apenas explica por que fazê-lo, mas também cria um espaço para realmente fazê-lo, fundindo-o na cultura de melhoria de manufatura original. O resultado do L&GBM prova ser mais eficaz. Ao comparar os resultados do L&GBM com os estudos de Cagno et al. (2005), o L&GBM é quatro vezes mais eficaz em termos de economia de custos do que as práticas <i>green</i>.</p>

(Continua)

(Continuação)

Fonte do input	Principais questões	Como o L&GBM está abordando isso?
Acadêmicos	10. Quais são as reais diferenças entre <i>lean</i> puro, <i>green</i> puro e L&GBM?	<p>Como já discutido no capítulo 5:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. L&GBM prioriza o enfoque no cliente; 2. L&GBM identifica e mede aspectos e impactos ambientais com base nos fluxos de valor; 3. L&GBM enfoca uma abordagem <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>; 4. L&GBM prioriza a maximização de valor e redução de custos; 5. L&GBM insere uma nova dimensão ao pensamento <i>lean</i> tradicional – o aspecto da preocupação ambiental; 6. L&GBM enfoca outras fontes de economia.
Acadêmicos	11. Quais são os pré-requisitos para o L&GBM?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Um processo estável, com registros de entrega acima de 90%; 2. Um nível de desenvolvido no uso e aplicação das ferramentas <i>lean</i>; 3. Sistemas de envolvimento dos funcionários (EF) estão em vigor; 4. Uma equipe de gestão de apoio; 5. Bom nível de consciência ambiental; 6. Uso significativo dos recursos naturais; 7. Estrutura para coleta de dados ambientais em vigor.
Acadêmicos	12. Quais são as dimensões do L&GBM?	L&GBM tem 5 dimensões: Segurança, Qualidade, Entrega, Custo e Meio Ambiente. L&GBM está construído com base no modelo de Rich, acrescentando a ele uma variável extra: estabilidade do processo (Segurança + Qualidade + Entrega + Flexibilidade) + Meio Ambiente → redução de custo
Acadêmicos	13. Qual é o principal objetivo do L&GBM?	O objetivo geral do modelo pode ser descrito como: “Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício e impacto ambiental e máxima produtividade no uso dos recursos naturais”. Isto significa que o pensamento <i>lean & green</i> será descrito em 5 dimensões, (1) Segurança, (2) Qualidade, (3) Entrega, (4) Custo, (5) Meio Ambiente. O L&GBM é um modelo que pretende motivar uma transição conceitual em um processo de aprendizagem que integra diferentes partes do conhecimento.
Acadêmicos	14. Qual o nível de liderança exigido pelo L&GBM? É necessário o apoio de liderança adequado e ferramentas de envolvimento de funcionários estarem em vigor para alcançar bons resultados com o L&GBM?	<p>Uma equipe de gestão de apoio. O apoio das lideranças é o 4º pré-requisito para a implementação do L&GBM.</p> <p>O L&GBM requer uma abordagem <i>top down</i> e <i>bottom-up</i>, por isso precisa o nível certo de liderança e envolvimento de pessoas, para obter sucesso. No modelo, isso foi traduzido no 3º e 4º pré-requisitos: (1) a célula já possui um Sistema de envolvimento de funcionários (EF) em vigor e (2) ela tem uma boa gestão de apoio para desenvolver e implementar as iniciativas <i>Kaizen</i>. Este é o caso para aplicação do L&GBM fora da GKN do Brasil. Em média, todas as células na GKN do Brasil foram capazes de implementar as oportunidades de melhoria identificadas durante o <i>kaizen</i>. Tinham apoio de seus líderes para desenvolver as alterações e as ferramentas para EF em vigor para acompanhar a implementação. Isto significa que a mesma atitude de envolvimento e de comportamento que é parte do <i>Lean Kaizens</i> também é aplicável e válida para um <i>kaizen</i> ambiental. Os eventos <i>kaizens</i> desenvolvidos fora da GKN do Brasil também fracassaram devido à falta de apoio de lideranças em vigor.</p>

(Continua)

(Continuação)

Fonte do input	Principais questões	Como o L&GBM está abordando isso?
Acadêmicos	15. Para conseguir bons resultados é necessário ser uma célula com uso intenso de material e de energia?	A resposta a esta questão é negativa. No modelo, isto foi atribuído ao pré-requisito final que a célula precisa ter um significativo uso de recursos e geração de resíduos para ser um caso de intervenção L&GBM. Montagem 20 não apresentou essas características. É uma célula de montagem, onde 75% do uso de seus recursos correspondem à graxa que é aplicada dentro do produto final. Apesar de, em termos de redução de custos não ter apresentado resultados tão impressionantes, em termos de prevenção da poluição, as ideias de melhoria propostas pelos empregados representaram uma média de 40% consumo de massa e energia da célula. Considerando que o objetivo principal para desenvolver um <i>kaizen</i> ambiental de célula é melhorar seu desempenho de fluxos de apoio (consumo de materiais e energia e geração de resíduos), este resultado pode ser atingido até mesmo em células onde o uso de materiais não é intenso. Este também é o caso de células Tripeça e AIR. Elas não têm uma utilização de recursos tão intensa, mas estão apresentando bons resultados também na redução dos fluxos de massa e energia.
Acadêmicos	16. O nível de melhoria ambiental depende de uma condição pré-existente. Como o tema é levado em consideração no modelo?	Para aplicar o L&GBM exige-se que uma CÉLULA tenha um bom nível de consciência ambiental e para o fluxo nível 2, que a FÁBRICA tenha certificação ISO 14001 e esteja no 2º ciclo de melhorias. Então, nível mínimo de preocupação ambiental e melhoria são necessários antes da implementação. Essa é a linha de corte para a implementação do modelo.
Acadêmicos	17. Por que a maior parte da aplicação do L&GBM fora da GKN do Brasil fracassou?	A primeira razão está relacionada ao cumprimento dos pré-requisitos do L&GBM: os <i>kaizens</i> que fracassaram não tiveram um apoio de lideranças adequado em vigor nem um bom nível de implantação <i>lean</i> . Uma segunda razão também foi identificada: falta de estrutura para coleta de dados. Esta é uma forte premissa para qualquer prática ambiental e também para o L&GBM. Para o L&GBM, os dados contam a história, então uma preparação preliminar e coleta de dados são etapas-chave e devem ser desenvolvidas adequadamente a fim de obter bons resultados durante o evento <i>kaizen</i> . A maioria dos eventos desenvolvidos fora do Brasil apresentou falta de recursos e estrutura para desenvolver o Modelo <i>Lean & Green</i> para uma célula. Portanto, um novo requisito relacionado à coleta de dados deve ser introduzido no Modelo <i>Lean & Green</i> .

(Continua)

(Conclusão)

Fonte do input	Principais questões	Como o L&GBM está abordando isso?
Acadêmicos	18. Já que o L&GBM fora do Brasil fracassou, é contexto específico?	<p>O L&GBM é um modelo genérico, projetado para ser aplicado em qualquer negócio de manufatura que já possui um processo de manufatura estável e um nível de implantação na aplicação de ferramentas <i>lean</i>.</p> <p>O fracasso da aplicação do modelo fora do país não demonstra que o modelo é de contexto específico, mas que, para obter sucesso, seus pré-requisitos devem ser observados. O L&GBM foi compatível com a estrutura da GKN Aerospace, Land Systems e Sinter Metals. Os <i>kaizens</i> em 2 de 3 casos aconteceu com o mesmo nível de entusiasmo e energia como no Brasil.</p> <p>A dificuldade aqui é que estas três instalações não cumpriram todos os pré-requisitos, especialmente com relação a um apoio de liderança, então eles fracassaram. No Brasil, a instalação modelo, foi capaz de cumprir todos os pré-requisitos, por isso foi capaz não só de fazer bons eventos <i>kaizens</i> mas também demonstrar resultados.</p>
Acadêmicos	19. Como o L&GBM mantém o envolvimento dos funcionários após o <i>kaizen</i> ?	<p>Como descrito nos pré-requisitos, o L&GBM requer que a CÉLULA que aplicará o L&GBM já possua ferramentas de envolvimento de funcionários em vigor (os operários já conhecem e aplicam as ferramentas para EF mais comuns, tais como Reuniões Diárias, Exibição visual preliminar, etc.); Assim, para manter o envolvimento, o modelo usa a estrutura EF já existente para manter o entusiasmo da equipe e envolvimento dos funcionários sobre o tema.</p>
Acadêmicos	20. Como o L&GBM considera a avaliação das mudanças ambientais?	<p>O modelo apresentado neste projeto foi aplicado em duas circunstâncias, nível de célula e de fluxo de valor.</p> <p>Para o nível de célula, o modelo não envolve grandes mudanças na tecnologia. Em vez disso, o modelo se concentra em mudanças de eficiência de comportamento e de operações. Para o fluxo nível 2, pode exigir grandes mudanças tecnológicas. Este não foi o caso dos oito projetos implementados graças à implementação do L&GBM:</p> <ul style="list-style-type: none"> • FV de Energia: (1) Alteração do sistema de bombeamento de água fria; (2) Correção reativa de energia; (3) implementação de um sistema de monitoramento e controle de vazamentos de ar comprimido; • FV de resíduos metálicos: (4) Alteração do design de gaiola e FV; • FV de água/produtos químicos: (5) Alteração do sistema de lubrificante PF; • FV de óleos: (6) implementação do sistema de regeneração de óleos interno – com caminho de regeneração de óleo; (7) implementação de um sistema para reutilização do óleo AIR; • FV de resíduos: (8) implementação de um sistema automático para reutilização de gordura residual. <p>Do ponto de vista ambiental, grandes mudanças tecnológicas devem ser analisadas através da adoção do ACV para evitar a inversão do ônus ambiental.</p>

Portanto, com base nas respostas apresentadas na **Tabela 37** para as 20 questões, que combinaram considerações da literatura, descrição do modelo apresentado no capítulo 5, com os resultados da sua aplicação, apresentado no Capítulo 6, foi possível responder a todos as considerações dos especialistas em relação ao L&GBM.

CAPÍTULO 8: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aprendendo com as pessoas que fazem a história, por exemplo, Charles Darwin, naturalista Inglês, disse uma vez: "*Na longa história da humanidade (e espécie animal, também) aqueles que aprenderam a colaborar e a improvisar melhor prevaleceram. Não é o mais forte da espécie que sobrevive, nem o mais inteligente que sobrevive. É aquele que é o mais adaptável a mudanças.*"

Neste sentido, um dos maiores desafios enfrentado pelas organizações envolve a construção e manutenção de um negócio em um mercado em constante evolução e ambiente empreendedor. Com o crescimento das preocupações sociais com o meio ambiente, novos sistemas e procedimentos devem ser incorporados às operações comerciais. Em consequência, uma nova função foi inserida na função de gerenciamento, a saber, a função ambiental (DARNALLA et al., 2008; NAWROCKA e PARKERA, 2009).

Este projeto propôs um novo modelo, o L&GBM, onde a preocupação *green* para sustentabilidade ambiental é integrada ao pensamento *lean*. O modelo utiliza a abordagem *kaizen* para tratar e melhorar os fluxos de massa e energia em um ambiente de produção que já possui um nível de implantação *lean* especificado. O L&GBM foi desenvolvido para investigar os possíveis benefícios da integração do pensamento *green* e *lean*, tanto para o meio ambiente quanto para empresas em termos de redução de resíduos, desempenho operacional e comprometimento dos funcionários. Com base nisso, este projeto de pesquisa procurou responder as seguintes perguntas de pesquisa:

- 1. As práticas de manufatura *lean* podem ser adaptadas e usadas como uma estratégia para atingir a sustentabilidade ambiental de um negócio?**
- 2. Quais são conceitos e premissas fundamentais das práticas de sustentabilidade ambiental que deveriam ser integradas às práticas de manufatura *lean*, a fim de suportar as estratégias do negócio para atingir sustentabilidade?**
- 3. Por que um modelo integrado é diferente da aplicação das práticas de “pensamento enxuto” ou “pensamento *lean*” e “pensamento sustentável” ou “pensamento *green*” individualmente?**
- 4. Como os conceitos de *lean* e sustentabilidade podem ser integrados e colocados em prática em um ambiente de manufatura?**

Para responder às perguntas um e dois, o modelo L&GBM, com o objetivo de (a) reduzir impacto ambiental e (b) melhorar a produtividade no uso de recursos naturais e, também, observando a estrutura de manufatura, fluxos de produção e os principais fundamentos do pensamento *lean*, foi desenvolvido e apresentado no capítulo 5. Para responder à questão três, uma discussão sobre diferenças entre o modelo L&GBM e outras metodologias foi apresentada no capítulo 5 e revisada no capítulo 7. Também foi apresentada, nos capítulos 4 e 7, a análise do modelo desenvolvido à luz do que pensam especialistas globais de meio ambiente e academia. Vinte questões relativas à aplicação do modelo L&GBM foram respondidas pelos mesmos. Para responder à questão quatro, o modelo desenvolvido foi testado em diferentes circunstâncias: (1) foi iniciado com o desenvolvimento de um piloto do modelo em duas células; (2) este modelo foi melhorado e aplicado em mais sete células; (3) modelo foi modificado e aplicado de forma simplificada em células irmãs; (4) o modelo foi aplicado ao fluxo de valor completo ou segundo nível de fluxo; (5) por fim, o modelo para células foi testado em diferentes ambientes de manufatura. O capítulo 6 apresenta os principais resultados atingidos com a aplicação do modelo L&GBM.

O modelo L&GBM foi criado para integrar o pensamento enxuto, *lean thinking*, com pensamento ambiental ou verde, *green thinking*, unindo os seus princípios fundamentais, a fim de estabelecer um novo modelo único e integrado. O mesmo introduz uma nova dimensão ao modelo tradicional de pensamento *lean*, estabelecendo o cuidado com o meio ambiente, motivando uma transição conceitual. Conceitos anteriores, como pensamento *lean* puro e sustentabilidade ambiental, são a bagagem. Uma vez integrando estes conceitos, o modelo L&GBM estabelece um novo modelo, derivado de fontes diferentes capaz de conectar conceitos básicos e fundamentais em uma nova forma de pensamento. Com o passar do tempo, o modelo L&GBM busca, não somente a integração dos vetores da sustentabilidade, social, ambiental e financeiro, mas, sobretudo equidade, enfatizando um verdadeiro balanceamento, o que promove a conectividade dentro e fora do sistema.

O modelo L&GBM apresenta um objetivo próprio: **“Produzir exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (sem atrasos), a um preço justo, com a mínima produção de desperdícios e impacto ambiental e a máxima produtividade no uso de recursos naturais.”** O modelo L&GBM também tem os seus próprios princípios: **(1) Identificação de um fluxo de valor estável (seja este primeiro, segundo ou terceiro nível de fluxo); (2)**

Identificação no fluxo de valor dos aspectos e impactos ambientais existentes; (3) Mensuração dos impactos ambientais e uso de recursos naturais encontrados no fluxo de valor; (4) Identificação de alternativas para (a) redução de impacto ambiental e (b) aumentar a produtividade no uso de recursos naturais no fluxo de valor; (5) Busca da perfeição através da melhoria contínua dos processos. Assim como todas as outras práticas ambientais, o modelo L&GBM tem um objetivo claro de melhoria no uso de recursos naturais e redução do impacto ambiental.

A ideia de aplicação do modelo L&GBM é que o mesmo será integrado como parte de um processo já existente de melhoria contínua dos processos de manufatura, no qual a filosofia e maneira de trabalho oriundos do pensamento *lean* já existem. Pensando assim, os objetos de estudo do L&GBM são os fluxos de massa e energia dos processos de manufatura e o resultado esperado com a aplicação do modelo é a melhoria desses fluxos termodinâmicos (Materiais e Resíduos; Energia; Químicos, Água e Efluentes) contribuindo para a melhoria do desempenho global. Devido a esta abordagem, o L&GBM se concentra em fontes não-tradicionais de economia. Pensamento *lean* tradicional considera apenas reduções nos sete desperdícios *lean* clássicos (superprodução, espera, transporte, processamento impróprio, inventário desnecessário, movimentação excessiva/desnecessária e defeitos). Com a introdução da dimensão ambiental ao longo do fluxo de valor, outras fontes de perdas podem ser identificadas e reduzidas, maximizando assim os ganhos. O modelo L&GBM identifica e mensura aspectos e impactos assim como entradas e saídas baseado nos fluxos de valor para manufatura, respeitando o real fluxo de valor. Aplicando o L&GBM, torna-se se mais fácil coordenar métricas ambientais e de produção em um sistema único e integrado. Também o modelo foca a integração simultânea entre funcionários, operadores e lideranças, com vistas ao desdobramento melhoria contínua ambiental. Todas as oportunidades de melhoria identificadas através da aplicação do modelo L&GBM, usando os *kaizens*, são diretamente integradas às estruturas de melhoria contínua já existente nos processos de manufatura devido ao nível desenvolvido de *lean* pré-existente. Antes da aplicação da metodologia proposta pelo modelo L&GBM, sete pré-requisitos foram identificados. Eles são: **(i) existência de um processo estável, com índices de entrega iguais ou superiores a 90%, (i) um nível desenvolvido no uso e na aplicação de ferramentas de Lean, (ii) existência de sistemas de envolvimento dos funcionários (EI Systems), (iv)**

suporte dos gestores, (v) consciência da importância ambiental e de sua preservação, (vi) uso significativo de recursos naturais, (vii) estrutura para coleta de dados.

O modelo apresentado nessa pesquisa foi desenhado para ser aplicado nos três níveis de fluxo. Este estudo apresenta apenas resultados de sua aplicação para o nível de célula, que é o primeiro nível de fluxo de valor em um negócio de manufatura que suporta os princípios do pensamento *lean*, e segundo nível de fluxo (a fábrica). Este estudo pode ser expandido para os outros níveis de fluxo, incluindo o terceiro nível, ou nível de fluxo de valor estendido (múltiplas fábricas ou cadeia de fornecedores). Esta extensão será objeto de trabalhos futuros.

O modelo foi testado em células e no segundo nível de fluxo de uma corporação multinacional de engenharia e manufatura com diferentes níveis de desenvolvimento na aplicação das ferramentas de *Lean* e impacto ambiental. O modelo utilizou-se do desenvolvimento de eventos *kaizens* com equipes multifuncionais, para garantir que todos os integrantes estivessem envolvidos, com a oportunidade de contribuir com suas ideias.

Os resultados práticos encontrados nesse projeto resumem as seguintes conclusões sobre o modelo L&GBM, sendo estas ressaltadas como a contribuição do modelo para a prática:

- **O modelo L&GBM é uma boa estratégia de prevenção à poluição, reduzindo entre 12 a 35% os fluxos de massa e energia dos processos de manufatura:** L&GBM para célula é capaz de reduzir em média 35% o uso de recursos naturais. L&GBM para células irmãs é capaz de reduzir 20% o uso de recursos naturais. Para o segundo nível de fluxo, L&GBM é capaz de reduzir 12% o uso de recursos naturais.
- **O modelo L&GBM pode ser usado para redução de custos:** com a aplicação do modelo é possível reduzir custos operacionais da manufatura relativos aos fluxos de massa e energia de 2 a 8% (**8% para células, 2% para células irmãs e 4,5% para o segundo nível de fluxo**). Em termos de redução de custos, estes quatro ciclos de melhorias do L&GBM geraram, sozinhos, ganhos financeiros superiores a R\$ 2.780.979,00. Este resultado é quatro vezes maior do que a aplicação de práticas de sustentabilidade ambientais tradicionais (CAGNO et al., 2005).
- **Confirmação de todos os pré-requisitos do modelo:** (1) ter um nível de desenvolvimento em *lean* é crítico; (2) estabilidade operacional é um requisito básico; (3) Suporte da liderança é fundamental durante todas as cinco etapas de

desenvolvimento do modelo; (4) a existência de times multifuncionais é importante para o sucesso da aplicação do modelo; (5) Consciência ambiental e (6) uso intenso de recursos são tópicos importantes para priorização e saber onde começar e (7) ter uma estrutura de coleta de dados é chave para o desenvolvimento do modelo. Uma variedade de variáveis deve ser considerada quando da aplicação do modelo. O teste-piloto, aplicação do modelo na unidade teste e depois em outros negócios de manufatura fora do Brasil confirmaram os pré-requisitos. As células que atenderam todos os pré-requisitos, incluindo desenvolvimento na aplicação das ferramentas de *lean* e estabilidade operacional, atingiram melhores resultados.

- **L&GBM é dependente de dados:** Assim como outras práticas ambientais, tais como produção mais limpa, no modelo L&GBM, os dados “contam a história”, como diz o ditado. Assim, preparação prévia e coleta de dados são passos fundamentais para a implementação do modelo e devem ser desenvolvidos de forma apropriada para que seja possível se obter bons resultados no evento *kaizen*. Com base nos resultados obtidos com a aplicação do L&GBM em outras unidades de manufatura, um novo pré-requisito relativo à coleta de dados foi introduzido ao modelo L&GBM para lidar com o que foi encontrado após o processo de teste.
- **A aplicação do modelo L&GBM para 1º e 2º níveis de fluxo têm enfoques diferentes:** Para o primeiro nível de fluxo, o modelo L&GBM para célula é mais dependente dos conceitos de manufatura *lean* (agentes de mudança) do que de conhecimento ambiental, as ações de melhoria são mais simples. Para o L&GBM para um fluxo de valor, o foco ambiental é maior. Isso requer um nível mais consistente de conhecimento e competência ambientais para desenvolver a análise, o *kaizen* e estabelecer o plano de ação.
- **Pensamento tradicional de fluxo de valor (dividido por famílias de produto) não pode ser aplicado pelo L&GBM:** Para a análise do fluxo de valor, sob um ponto de vista ambiental, deve ser um impacto ambiental local e não só o impacto de um fluxo de valor, há uma combinação de impactos ambientais que podem criar uma interferência do sistema alterando o impacto global; portanto, pensamento tradicional de fluxo de valor (dividir por famílias de produtos) não é aplicável, porque não vai considerar o impacto global no ambiente e a combinação de efeitos ambientais.

Conforme discutido acima, o modelo proposto aqui é diferente de outras abordagens híbridas e também se distingue das práticas *lean* pura e/ou *green* pura, tais como produção mais limpa e eco eficiência em função de várias características. **As seguintes conclusões teóricas podem ser difundidas sobre o modelo L&GBM, destacando sua contribuição para o conhecimento:**

- **L&GBM introduz uma nova dimensão ao conceito tradicional de pensamento *lean*, a preocupação ambiental, motivando, assim, uma transição conceitual.**
- **L&GBM integra, completamente, pensamento *lean* e sustentabilidade ambiental**, agregando os seus princípios fundamentais para criar um novo modelo, único e integrado.
- **L&GBM remete a ideia que precisamos ser *lean* para ser *green* (Lean-to-Green approach):** a implementação do modelo L&GBM deve ser uma continuação, um segundo estágio de melhoria contínua, na qual a cultura do pensamento *lean* já existe.
- **L&GBM foca em fontes não tradicionais para redução de custos:** o modelo de pensamento *lean* tradicional considera a redução somente das sete perdas clássicas. Com a introdução do conceito de preocupação ambiental, ao longo de todo o fluxo de valor, outras fontes de perdas podem ser identificadas e reduzidas, maximizando os ganhos.
- **L&GBM prioriza estabilidade na manufatura e foco no cliente:** o modelo é chamado “Modelo para um negócio *lean* e *green*”, pois é necessário ser *lean* primeiramente.
- **L&GBM requer um nível suficiente de estabilidade na manufatura e desenvolvimento de *lean* antes de ser introduzido:** outras práticas de sustentabilidade ambiental, como produção mais limpa e eco eficiência não possuem este pré-requisito.
- **L&GBM identifica e mede aspectos e impactos ambientais, assim como entradas e saídas baseado nos fluxos da manufatura e no real fluxo de valor:** nem produção mais limpa nem eco eficiência focam nos fluxos da manufatura para atingir os seus objetivos.

- **L&GBM foca na integração de equipes multifuncionais** para desenvolver melhorias ambientais contínuas que estão integradas a estrutura de melhoria contínua de um desenvolvimento *lean* já existente.

Baseado nos resultados apresentados, o modelo L&GBM mostra que as práticas de sustentabilidade ambiental podem ser tratadas com uma extensão do pensamento *lean*. Sustentabilidade significa “atender às necessidades das gerações atuais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas necessidades”. Os três impactos fundamentais (ou Pessoas, Planeta e Lucro) evoluíram para redefinir objetivos de negócios de acordo com a filosofia original de Brundtland (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987). Assim, pensamento *lean* leva a iniciativas sustentáveis. Como o pensamento *lean* considera o vetor econômico da sustentabilidade, sustentabilidade ambiental, no conceito e na prática, pode ser considerada a expansão do pensamento *lean* para atingir um objetivo muito maior.

Sustentabilidade ambiental, como o pensamento *lean*, tem um bom histórico de melhorar as finanças do negócio por causa da ênfase na eliminação de desperdício. Existem grandes oportunidades para economizar recursos e dinheiro no chão de fábrica. Esta pesquisa aplica o L&GBM usando exercícios *kaizen* que se baseiam nas ideias e experiências dos operadores e líderes, bem como ferramentas e técnicas *lean* apropriadas para identificar desperdício. Este modelo pode gerar 8% na melhoria custo operacional. Em um mundo de incertezas sobre a economia e o meio ambiente, o modelo L&GBM demonstra uma abordagem moderna e inovadora para apoiar o desenvolvimento de negócios sustentáveis.

8.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A proposta para pesquisas futuras inclui o desenvolvimento dos seguintes temas:

- i. Aplicação do modelo L&GBM para uma célula em outros negócios de manufatura (outros negócios da GKN e também fora da GKN) que possuam um bom nível de desenvolvimento *lean*;
- ii. Aplicação do modelo L&GBM para um fluxo de valor em outros negócios de manufatura (outros negócios da GKN e também fora da GKN) para identificar possíveis benefícios em termos de impacto ambiental e redução de custos;
- iii. Aplicação do modelo L&GBM para 3º nível de fluxo – valor de fluxo estendido – na GKN Driveline do Brasil.

ENGLISH VERSION

CHAPTER 1: INTRODUCTION

Albert Einstein once said: *“We cannot solve our problems with the same thinking we used when we created them”.*

But in real life, how many times have you tried to see the same problems using different ideas, applying different lenses, trying to understand different paradigms, applying different ways of thinking?

Systems thinking is the process of understanding how things, regarded as systems, influence one another within a whole. As a culture, we are discovering that we cannot understand the major problems of our time in isolation. These are systemic problems; they are by nature interconnected and interdependent. In this sense, systems thinking means thinking in context. It is a way of thinking that emphasizes the whole rather than the parts. While classical science insists that the behavior of a complex system can be best analyzed in terms of the properties of the parts, systems thinking reverses the equation by showing that the properties of the parts are not intrinsic but can be understood only within the context of the larger whole.

According to Capra (1996) an understanding of reality based on the essential interdependence and interconnectedness at the heart of things restores our human connection to the entire web of life. Living systems exhibit the same basic principles of organization. They are networks that are organizationally closed, but open to the flows of energy and resources. Their structures are determined by their histories of structural changes and they are intelligent because of the cognitive dimensions inherent in the processes of life. In business terms, the interchange of ideas and concepts exists even though there is no real intention for them to occur.

Rooted as systems thinking, sustainability grounds the development debate in a global framework, within which a continuous satisfaction of human needs constitute the ultimate goal (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987). When transposing this idea to the business level, corporate sustainability can accordingly be defined as meeting the needs of a firm’s direct and indirect stakeholders (such as shareholders, employees, clients, pressure groups, communities etc), without compromising its ability to meet the needs of future stakeholders as well. Towards this goal, firms have to maintain and expand their economic, social and environmental capital base while actively

contributing to the sustainability in the political domain. From this definition, three key elements of corporate sustainability can be identified: Integrating the economic, ecological and social aspects in a 'triple-bottom line'.

In this sense, human well-being and progress toward sustainable development are vitally dependent upon improving the management of Earth's ecosystems to ensure their conservation and sustainable use. But while demands for ecosystem services such as food and clean water are growing, human actions are at the same time diminishing the capability of many ecosystems to meet these demands. Sound policy and management interventions can often reverse ecosystem degradation and enhance the contributions of ecosystems to human well-being, but knowing when and how to intervene requires substantial understanding of the characteristics of the systems involved in a holistic way, including the ecological or environmental aspects, the social systems involved and the business or economic issues.

What happens when we try to solve this problem looking at sustainable principles inside a manufacturing business operation? From the 1980's, many models of "how to run" an efficient and effective manufacturing organization have been developed. This process was to yield a new and post-mass production model of manufacturing that has been termed "lean production" and more recently "lean thinking". The origins of the "lean approach" can be traced to US fears that newly emerging Japanese assemblers held a competitive advantage over their established Western counterparts. Those fears promoted benchmarking studies of the global automotive industry to test these fears and find the causes of such an advantage. The results of those studies were reported in the publication, *The Machine that Changed the World*, by Womack et al. (1990).

Lean thinking (WOMACK and JONES, 1998) described a "more efficient" manufacturing business based on the same manufacturing dimensions, the same original lenses of safety, quality delivery and cost. However, a more systemic view of what was really necessary for a shifting in mindset was not taken into consideration. It derives from the fact that most of us, and especially our large social institutions, subscribe to the concepts of an outdated worldview, a perception of reality inadequate for dealing with our overpopulated, globally interconnected world.

Einstein also stated: *"Learn from yesterday, life for today, hope for tomorrow. The important thing is never stop questioning"*.

This period in which we live (BURKE, 2006) is marked by increasingly frequent and intense of encounters of all kinds, with a global trend towards mixing and hybridization. Understanding that there are different ways to be sustainable in a manufacturing business, this project intent is to promote the encounter of two different ways of thinking, lean thinking and green thinking.

We know that walls, or organizational structure, cannot stop the flow of ideas but it does not mean that they are able to flow so easily. Lean and green thinking are rooted in different ways, have different meanings and occupy different space inside the business world. The idea of this project is to see both ways of thinking based on different perspectives, understand its own characteristics, boundaries and languages, being able to explain each one to each other and also to create an integrated approach, applying important characteristics from both of them. The Kaizen events will be the moment where these two different ways of thinking will meet. The Japanese word for "improvement", or "change for the better", kaizen, refers to philosophy or practices that focus upon continuous improvement of processes. When used in the business sense and applied to the workplace, kaizen refers to activities that continually improve all functions, and it involves all employees, from the CEO to the assembly line workers.

Therefore, the main objective of this study is to propose a new model, the Lean and Green Business Model (L&GBM), where the green dimension, the environmental aspect of sustainability, is added to the pure lean thinking concept in order to create a new way of thinking that contributes to and balances the three sustainability dimensions (people, profit and planet) and that uses the Kaizen approach for dealing and improving mass and energy flows in a manufacturing environment that already possesses a deployment level in applying lean. The model aims to have the following characteristics:

1. Lean thinking for dealing with manufacturing environmental issues in order to integrate environmental sustainable practices prerequisites of (1) impact reduction and (2) resources productivity with manufacturing ways of working.
2. The use of the Kaizen approach for dealing and improving environmental flows of mass and energy of a manufacturing cell and the value stream.
3. The idea of improving operational sustainability by optimizing supporting flows performance - the mass and energy flows (everything that enters and leaves) of systems composed by a production for a cell and a value stream.

Figure 1 presents the main role of the study.

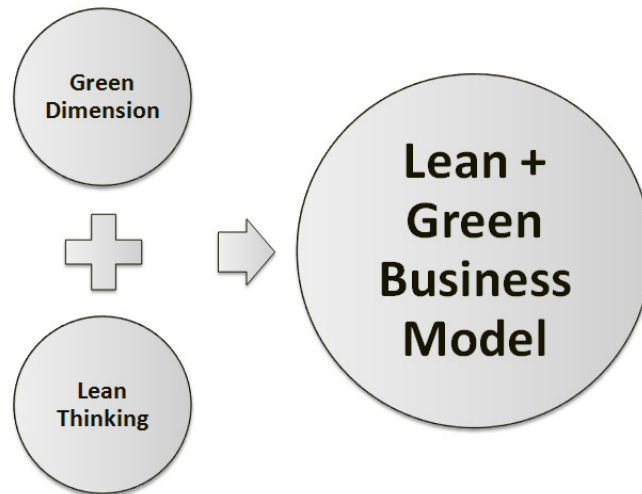


Figure 41: The main objective of the study
Source: Developed by the author.

As Einstein once said: “No problem can be solved with the same level of consciousness that created it.”

This research aims to propose a new framework, a model that is able to translate the environmental language and the intention of the environmental sustainable practices of pollution prevention, improvement of environmental performance, improvement of mass and energy flows to the manufacturing world. In other words, it means looking at environmental issues with manufacturing eyes, in another way and, by understanding existing manufacturing practices and tools, adapting it based on environmental fundamentals and using it to support a sustainable business. L&GBM aims to translate the environmental language to the manufacturing world, applying lean thinking to solve environmental problems. This research project will be focused on answering the following research questions:

1. Can lean manufacturing practices be adapted and used as a strategy to achieve business environmental sustainability?
2. What are the fundamental building blocks from the other environmental sustainable practices that should be integrated to the lean manufacturing concepts in order to support business strategies to achieve sustainability?
3. Why an integrated approach is different from traditional lean thinking and environmental / green practices alone?

4. How can lean and sustainability concepts be integrated fully and put into practice in a manufacturing environment?

The aim is to understand and answer the previous questions. This research will attempt to investigate the application of lean and sustainability concepts, lean and green, by developing a model (L&GBM) to be applied to manufacturing. By applying lean thinking to solve environmental problems, L&GBM will be focused on the improvement of the manufacturing supporting flows (water, energy, material, effluent, chemicals, wastes) with the ultimate goal of optimizing the overall process performance by reducing costs and significant environmental impacts. Further, in order to create the basis for the L&GBM deployment, this research explores some of the fundamental building blocks of operations management, lean thinking, sustainability and green concepts. It proposes the model structure and dynamics and reports the application of the developed model in a major engineering international corporation. The results of the applications are presented, analyzed and conclusions are proposed.

1.1 RESEARCH OBJECTIVES:

The project goal is: *To develop a testable Lean and Green Business Model (L&GBM) as a strategy to achieve business environmental sustainability by exploring the benefits from lean thinking integrated to the fundamental building blocks from environmental practices.*

Regarding specific objectives, this project will be based on the following items:

1. To discuss why an integrated approach can be different from traditional lean thinking and environmental practices alone.
2. To apply the L&GBM in one pilot manufacturing unit evaluating the application in three different circumstances: (1) Application of the model in the first level of flow - The Cell; (2) Application of the model for sisters' cells; (3) Application of the model in the second level of flow – The Value Stream.
3. To discuss the required changes, barriers and benefits for deploying the L&GBM in a global manufacturing enterprise, considering the different types of manufacturing processes.

1.2 DEFINITION OF SCOPE OF STUDY AND LIMITATIONS

The scope of study of this research is based on four main themes, (1) operations management, (2) lean thinking, (3) sustainability and (4) green thinking. In order to develop the L&GBM, the project will take a systemic approach to understanding how these systems influence each other and the whole. To answer the research questions raised and discuss the model developed, L&GBM will be applied in a pilot manufacturing unit, GKN Driveline Brazil (Porto Alegre and Charqueadas sites), which is part of the major engineering UK corporation, GKN PLC. Therefore, the limitations of this research include:

- This study intends to understand fundamentally the building blocks and main characteristics of the four themes of which it is composed, (1) operations management, (2) lean thinking, (3) sustainability and (4) green thinking in order to compose L&GBM. Individually, they are mature topics of study in their specific fields, with an extensive number of elements and high level of complexity. Therefore, detailed characteristics, evolution patterns and details of applied tools will not be considered in this study.
- L&GBM is a generic model, developed and limited to be applied in manufacturing businesses. Its implementation is restricted to manufacturing businesses that are able to meet the prerequisites established by the model. The application of the L&GBM for other types of business, such as services, is not object of this study. Also, the relative results regarding the application of the L&GBM may be generalized only to manufacturing businesses that are able to meet the prerequisites established by the model.
- Although L&GBM is a generic model, developed and limited to be applied in manufacturing businesses, the absolute financial and environmental results of the application of L&GBM are restricted and specific to the pilot manufacturing unit, GKN Driveline Brazil (Porto Alegre and Charqueadas sites) to which the model was applied and tested. The application of the model in other types of manufacturing businesses will be discussed, but overall environmental impact and financial result of the application of the L&GBM, in absolute terms, are specific to this business.

- The objects of study of L&GBM are the mass and energy flows, the supporting flows of production, for manufacturing value streams. The study of product and production flow will not be analyzed in this study.
- L&GBM will be evaluating value stream environmental aspects according to ISO 14001 concepts (ISO 14001, 2004). The identification of impact reduction for L&GBM will be restricted to mass and energy balance studies.

1.3 THESIS STRUCTURE

In order to present the L&GBM, results achieved, analysis of the results and conclusions, this PhD project will be divided accordingly with the following structure:

- **Chapter 2** presents the literature review, exploring the main characteristics, dimensions, fundamental building blocks and main tools of the four main bodies of literature that compose this study, **(1)** operations management, **(2)** lean thinking, **(3)** sustainability and **(4)** green thinking.
- **Chapter 3** proposed an analysis of gaps and interactions of the individual blocks of literature that compose this work to establish the basis for the L&GBM, including **(1)** analysis of lean and green taking an operations perspective, **(2)** analysis of lean and green taking a sustainability perspective, **(3)** analysis of green taking a lean perspective and **(4)** analysis of lean taking a green perspective.
- **Chapter 4** introduces the research method used for developing the L&GBM and the pilot manufacturing unit where the model will be applied and tested.
- **Chapter 5** is dedicated to explaining the design and fundamental characteristics of the Lean & Green Business Model (L&GBM), including **(1)** the purpose of the L&GBM, **(2)** the principles of the L&GBM, **(3)** the ways of working of the L&GBM, **(4)** why the L&GBM is different than pure lean and green thinking, **(5)** the L&GBM for a cell, **(6)** the L&GBM for sister cells and **(7)** the L&GBM for a value stream.
- **Chapter 6** presents the results of the application of the L&GBM and it is divided in **(1)** L&GBM for a cell pilot testing, **(2)** L&GBM for a cell roll out, **(3)** L&GBM for sisters 'cells application, **(4)** L&GBM for a value stream application, **(5)** L&GBM application in different manufacturing environments.

- **Chapter 7** proposes the discussion of the results. It includes the **(1)** analysis of key findings related to the application of L&GBM and **(2)** discussion of barriers for applying L&GBM in different manufacturing environments, **(3)** revisiting research questions / objectives, **(4)** analysis of the contribution to knowledge and **(5)** analysis of the contributions to practice.
- **Chapter 8** presents the conclusions and final remarks and the suggestions to future research.

CHAPTER 2: LITERATURE REVIEW

Sustainability has become a legacy for the 21st century. It embodies the promise of societal evolution towards a more equitable and richer world in which the natural environment is preserved for generations to come. The quest for economic growth and social equity has become a major goal for most of the past 150 years. By adding concern for the carrying capacity of natural systems, sustainability ties together the current main challenges facing humanity.

Although the issues embodying sustainability are more than a century old, the concept of sustainable development itself was described in the late 80's, following The Brundtland Report, a report made by the World Commission on Environment and Development. It describes the growing global awareness of the enormous environmental problems facing the planet, and proposes a growing shift towards global environmental action. The concern about the sustainability encouraged the society to support the development of a significant number of corporate practice, many applied to manufacturing business, such as Industrial Ecology, Industrial Symbiosis, Pollution Prevention, Cleaner Production, etc with the ultimate goal of supporting the sustainability dimensions of (1) profit, (2) people and (3) planet. Although all these studies and practices have contributed to create a new world paradigm, very few were able to contribute fully to all dimensions of sustainability (LOZANO, 2012).

Sustainable development links the concern for the carrying capacity of natural systems with the social challenges facing humanity. Therefore it contains two key concepts: (1) the concept of needs, in particular the essential needs of the world's poor, to whom overriding priority should be given; (2) the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs. All these definitions of sustainable development propose understanding the world as a system — a system that connects space and time. Therefore, the concept of sustainable development is rooted in systems thinking.

Systems' thinking is based on the belief that the component parts of a system can be best understood in the context of relationships with each other and with other systems, rather than in isolation. It is the process of understanding how things, regarded as systems, influence one another within a whole. It is an approach to problem solving, by viewing

"problems" as parts of an overall system, rather than reacting to specific part, outcomes or events and potentially contributing to further development of unintended consequences. (CAPRA, 1996).

"...manufacturing is the constant game of doing more with less..." therefore manufacturing managers are constantly looking for new approaches to increase efficiency (HOPP and SPEARMAN, 2008). With the purpose of promoting a continuous improvement culture within the business, the expenditure of resources for any goal, other than the creation of value for the end customer, is considered to be wasteful. Lean thinking is one of these strategies that is being explored by manufacturing to increase performance. The logic of lean thinking can be redesigned and integrated to the sustainability systemic concept.

"...a gram of prevention is better than a kilogram of cure..." therefore using less energy, material, generating less waste is prevention, and so good for the environment (BASS, 2007). Minimizing the waste produced in manufacturing, reducing energy use and using materials and resources in a more efficient way can lead to financial cost savings and a reduction of environmental impacts. Therefore, integrating both concepts, lean thinking and sustainability, offer the foundation for a new business logic, where the pillars of sustainability, social, economic and environmental, can be better understood by manufacturing and therefore support business goals, requirements and needs.

Thus, in a systems approach, there are no such things as 'physics problems', 'economics problems', 'production problems', etc.; the way a part affects the whole depends on other parts. To improve the performance of a system, you have to improve the interactions, not the parts. Also, most managers attempt to solve the problem that they recognize. That is the fundamental reason why most management interventions fail. In fact, most problems are best solved outside of the system. The 'disciplines' (physics, engineering, sociology, marketing, economics, etc.) are simply points of view, ways of looking at problems. 'Lean' is but one way. Most system problems are intertwined. Often, benefits result by looking at the system in a different way.

Following this, the main objective of this project is to propose a new model, the Lean and Green Business Model (L&GBM), where the green dimension, the environmental aspect of sustainability, is added to the pure lean thinking concept, in order to create a new way of thinking that contributes and balances the three sustainability dimensions (people, profit and planet). Lean takes the Kaizen (continuous improvement) approach for dealing and

improving mass and energy flows in a manufacturing environment that already possesses a deployment level in applying lean.

Systems thinking involves an understanding of a system by examining the linkages and interactions between the elements that compose the entirety of the system. Considering this, the basis for this research is rooted in four main pillars: understanding about **operations management**, the main principals that make manufacturing behave the way it is, **lean thinking**, and why it changed manufacturing ways of working, **sustainability** and **green thinking**, how it is integrated to the manufacturing world. The intersection between these main knowledge streams, as presented in **Figure 2**, will provide foundation for the development of the L&GBM.

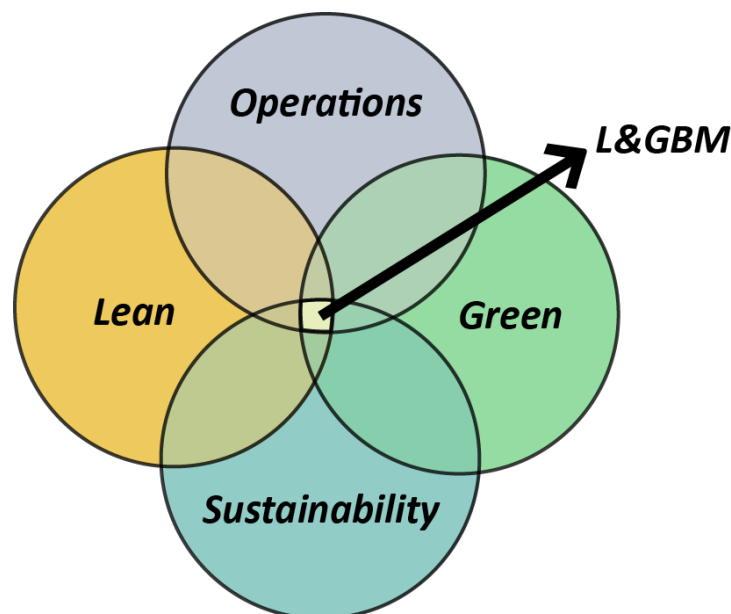


Figure 42: Basic literature – the main pillars for this research
Source: Developed by the author.

Based on this, this literature review chapter will be presenting the fundamental characteristics and structures of the main bodies of literature that integrate this research, such as, **(2.1) Operations Management**, focusing on purpose, principals and objectives, **(2.2) Lean Thinking**, including purpose (House of Lean), principals (five principals and seven classic wastes) and key strategies, practices, tools (Kaizen), **(2.3) Compression and Sustainability concepts** and **(2.4) Green Thinking**, highlighting its purpose, key strategies, practices, tools.

Figure 3 presents how the structure will be presenting the literature review in order to compose the background for the presentation of the L&GBM.

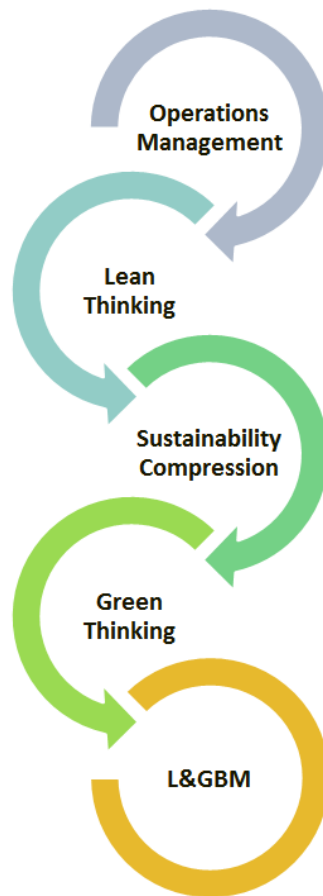


Figure 43: Individual bodies of background literature that integrate this research
Source: Developed by the author.

In science, systems thinkers consider that a system is a set of interrelated parts functioning as a whole to achieve a common purpose, a dynamic and complex whole, interacting as a structured functional unit. Therefore, subsystems are interdependent. A change in one part affects other parts. The whole is greater than the sum of its parts.

The individual bodies of literature are subsystems that compose the L&GBM, which are interrelated, interdependent and synergic. The understanding of the individual bodies that is the basis to compose the L&GBM, is key to create the structured functional unit of this research.

2.1 OPERATIONS MANAGEMENT

For Hopp and Spearman (2008), operations management is an area concerned with overseeing, designing, and controlling the process of production and redesigning business operations in the production of goods and/or services. It involves the responsibility of

ensuring that business operations are efficient in terms of using as few resources as needed, and effective in terms of meeting customer requirements. The term operations refer to the application of resources (capital, material, technology, human skills and knowledge) to the production of goods and services. Clearly, all organization involves operations. In the case of factories, they produce physical goods.

According to Hopp and Spearman (2008), the term operations also refers to a specific function in an organization, distinct from other functions, such as product design, accounting, finance, etc. People involved in operations are responsible for the activities directly related to the production of goods and services, including scheduling, inventory control, quality assurance, workforce scheduling, materials management, equipment maintenance, capacity planning and whatever it takes to get products out of the door. The operations view focuses on the flow of material through a plant and thereby places clear emphasis on most of the key measures by which manufacturing managers are evaluated (throughput, customer service, quality, cost, investments, labor cost, and efficiency). Adopting an operations viewpoint in the design process therefore promotes design for manufacturability. Operations and strategic planning are closely tied, since strategic decisions determine the number and types of products to be produced, the size of manufacturing facilities, the degree of vertical integration, etc.

According to Slack et al. (2004), the main purpose of operations management, the part it plays within the organization, is strategic. For the authors, the reason that the functions exist is based on three roles: to implement business strategy (put it into practice), to support business strategy (it means developing resources to provide the capabilities within the organization to improve and refine strategic goals) and to drive business strategy (by giving long term advantage).

Slack et al. (2004), also define five main stakeholders for the operations function:

- **Society:** Focus on enhancing community well-being and ensure clean environment;
- **Suppliers:** Focus on continuing business;
- **Shareholders:** Focus on economical and ethical value from investment;
- **Employees:** Focus on continue employment, fair pay, good working conditions, personal development;
- **Customer:** Focus on fair price for a product with quality, delivered on time; flexibility and acceptability.

The same authors also set seven five key principal for the operations function:

- **Quality:** Do things right;
- **Speed:** Do things fast;
- **Dependability:** Do things on time;
- **Flexibility:** Be able to change what you do;
- **Cost:** Do things cheaply;

Combining the effect of these key objectives and their impacts inside and outside the organization it is possible to anticipate the overall organizational performance. **Figure 4** highlights its behaviors.

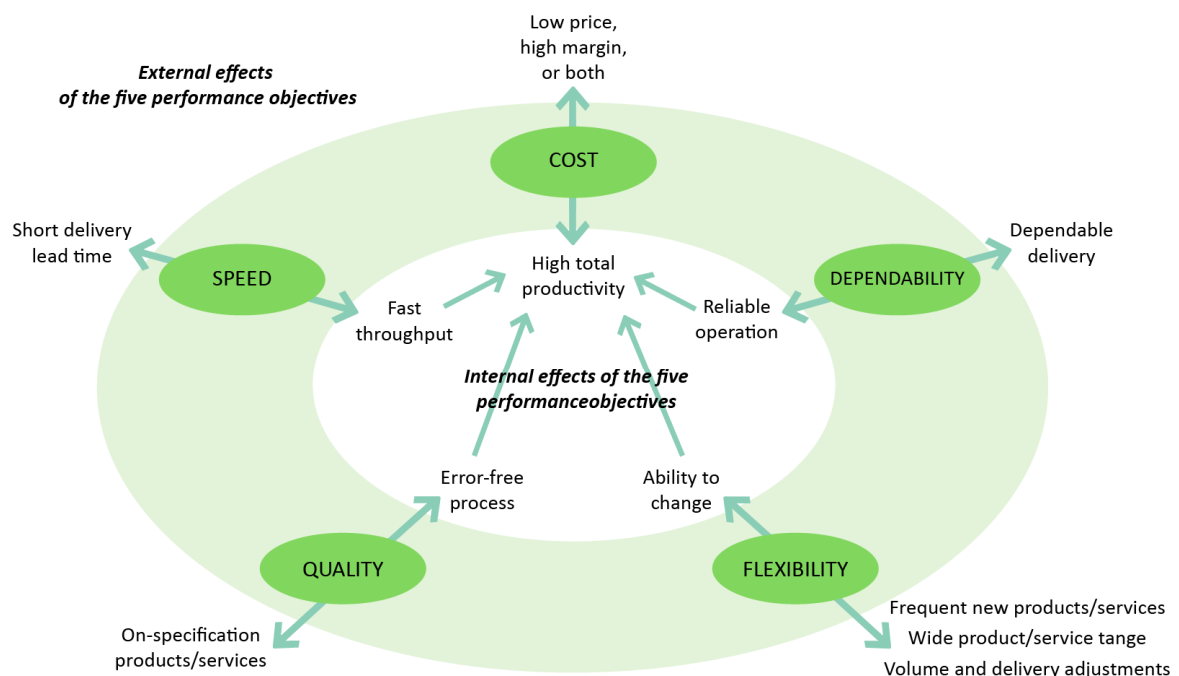


Figure 44: Operations management performance objectives- Overview of internal and external effects.
Source: SLACK et al., 2004

The ability of any operation to play the roles within the organization (implement business strategy , support business strategy and drive business strategy), by considering organizational aims or aspirations, have been called four-stage model (SLACK et al., 2004), which has been used to evaluate the contribution of operations management to any kind of company. They are:

- **Stage 1 – Internal neutrality:** the function is inward looking reactive with little positive towards competitive success.

- **Stage 2 – External neutrality:** the operations function is beginning to compare itself with similar companies or organizations, measuring itself against the competitors.
- **Stage 3 – Internally supportive:** It is the limit of operations function. It is where operations functions start to drive performance and strategy; it is not better than competitors on every aspect but is broadly up to do the best.
- **Stage 4 - Externally supportive:** It is where operation function is the bases for competitive success. It is central to the strategy making.

Figure 5 presents the description of the role and contribution of the operations function in each stage.

STAGE 1	STAGE 2	STAGE 3	STAGE 4
<ul style="list-style-type: none"> • Stop holding the organization back • Correct worse problems • Ability to implement strategy 	<ul style="list-style-type: none"> • Be as good as competitors • Adopt best practice • Ability to support strategy 	<ul style="list-style-type: none"> • Be clearly the best in the industry • Link strategy with operations • Ability to drive strategy 	<ul style="list-style-type: none"> • Redefine the industry's expectation • Give an operations advantage

Figure 45: Role and contribution of the operations function in each stage of the organization strategic process
Source: Adapted by the author.

Understanding the role of Operations Management is key for deploying the L&GBM and for the development of this work.

The idea of improving operations function performance by looking at it using different lenses, adding the green dimension in the way the operations is managed is a core objective of this research.

2.2 LEAN THINKING

Manufacturing is the constant game of doing more with less (HOPP and SPEARMAN, 2008). Therefore, lean thinking is one of these strategies that completely changed the way that manufacturing operations is being developed over the past decades. Gordon (2001) states that for decades, lean manufacturing has been considered the best way to run a manufacturing company.

From the 1980's, many models of "how to run" an efficient and effective manufacturing organization were developed. It is no surprise that "high performance" manufacturing model ("world class manufacturing") was influenced greatly by the rise of Japan as a manufacturing nation, as prestigious Japanese corporations began to establish manufacturing and assembly facilities in North America and Europe. These companies included Toyota, Nissan, Honda, Sony, Panasonic, which were exemplar companies in their chosen product sector. This rapid rise, to become one of the world's centers of manufacturing excellence, set in place to find out how these companies designed and operated their manufacturing systems to achieve such competitive advantage. This process was to yield a new and post-mass production model of manufacturing that has been termed "lean production" and more recently "lean thinking". Despite the origins of the lean approach being the Japanese car industry, it has been emulated widely by Western manufacturing businesses engaged in a wide variety of market and sectors (RICH et al., 2006).

2.2.1 Four dimensions of a Lean Enterprise

According to Bicheno (2000), the general purpose of lean thinking can be described in four main dimensions (1) S-Safety, (2) Q-Quality, (3) D-Delivery and (4) C-Cost. It means that, *"producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste"* is the ultimate goal of a lean enterprise. Therefore, lean thinking focuses on the optimization of production resources oriented by the customer – time, people, machine, space, etc, and consequently reduces wastes.

Whilst every lean journey is unique, there are certain features of the model that are common to all lean implementation models. The common features of a system and operational change process to implement lean production form a natural order that is often presented as "house of lean" (**Figure 6**). This suggests that lean production can only be achieved when it is put together correctly and when key organizational processes are brought together to give it strength. The foundations of the "house of lean" are basic operations disciplines, the floor consist of simple and visual techniques as control and the walls are produced from quality control, maintenance and material flow pillars, which provide structure and robustness to the system. Finally, to keep everything synchronized and in place, there are the binding measures of the business and the use of factory policy setting to focus and give

direction to the many improvement programmes of the factory. It is not enough to have one piece or fragment, the power of lean systems lies in the design of the total “system”.

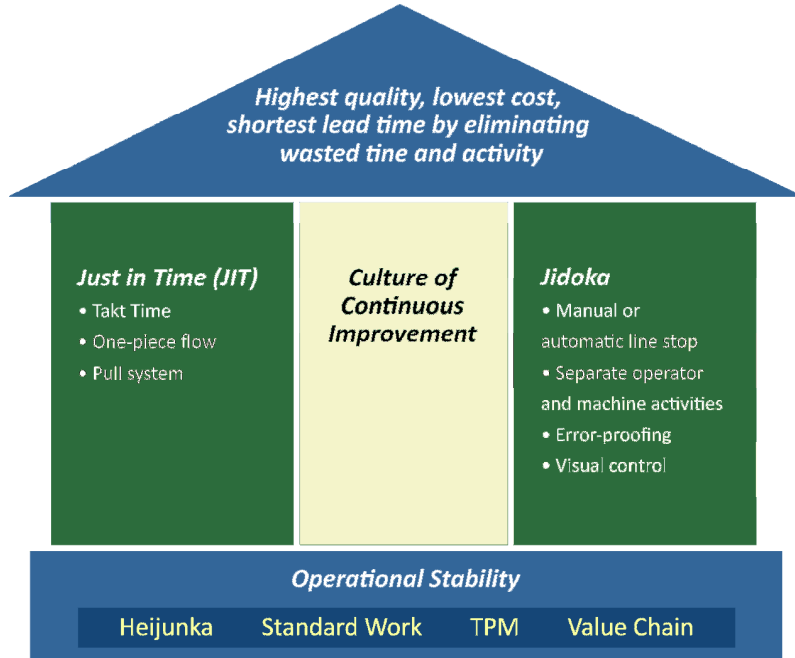


Figure 46: House of Lean
Source: Adapted from RICH et al., 2006

The logic of implementing lean is needed because it will be used to gain consensus throughout the entire organization. It is quite straightforward and common to all companies (RICH et al., 2006). **Figure 7** describes the lean improvement stages from chaos to control to competitive advantage. **Table 1**, expands on Figure 7, describing the core dimensions of a lean enterprise.

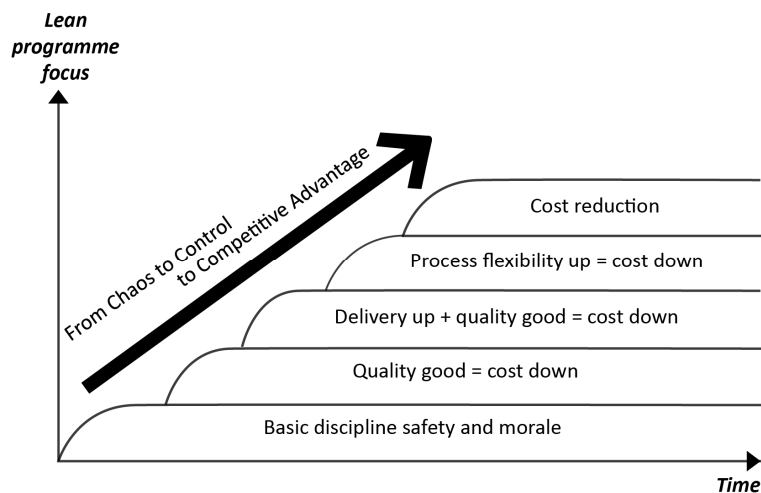


Figure 47: Lean improvement stages
Source: RICH et al., 2006

Table 38: Four dimensions of a lean enterprise

Dimension	Key Objective	Description
<p>Dimension 1: Safety</p>		<p>No world-class business exists in an environment with poor safety standards and morale. It is difficult to get the best from people if the factory is a mess and the basic organization is not in place. If the factory is disorganized, it is difficult to tell the difference between good and bad standards of professional conduct. It also means that it is difficult to see the value from waste and the danger that exists in even the simplest of working environments. It is basic right to expect that the factory is safe, even though it may not be world class or lean.</p>
<p>Dimension 2: Quality</p>	<p>Stability</p>	<p>The second stage in the logic of lean implementation is to address the quality of everything that is done in the factory. It means understanding the value of doing what you do and how to do it better to provide higher levels of value. This stage, just like the first, is designed to create stability from the chaos. It means also that the organization has implemented a problem solving structure, the basis of TQM (Total Quality Management). Improving quality improves productivity and reduces the time needed to convert product and hence it lowers costs. Lean production system follows this “quality first” route since increasing quality improves customer value.</p>
<p>Dimension 3: Delivery</p>	<p>Control</p>	<p>The third stage of lean logic is delivery. If quality is good and constant, than products should flow better and therefore batch sizes and inventories can be reduced to allow quality products to be delivered in less and less time. Improving the delivery performance at each stage of production shortens the time between receiving and dispatching product orders. Stage three involves the attention to “delivery issues” and the introduction of solutions that compress the time between getting the order and getting paid for it.</p>
<p>Dimension 4: Cost</p>	<p>Competitive advantage</p>	<p>Stage four is where the issue of cost can be addressed effectively. With high level of quality and delivery performance from the production system, the only waste that remains in the order-to-delivery cycle is to find ways of reducing unnecessary costs. At this point, wastes and cost became visible as “abnormal” parts of the production systems. All too often, this stage of improvement involves the questioning of policies around manufacturing process and has not been questioned since the system was designed. Therefore cost reductions can take place and further waste eliminated from the production system that was not detected during the previous stages.</p>

Incrementally building of lean manufacturing capability will give local benefits if exploited correctly, but until the basic lean systems of quality and delivery performance is mastered, there will not be a great deal to offer the customer. For example – halving the set up time for a machine in the production process is actually meaningless, until the same savings can be achieved throughout the entire system; until output has increased throughout or boxes of unnecessary inventory are removed. To the companies that don't understand the logic, there has been little gain from the customer perspective. Instead, the company has made a “point improvement” in the manufacturing system, but this has been completely lost as overall stocks have not been reduced.

2.2.2 Lean key five principles and seven classic wastes

The concept of lean thinking describes the working philosophy and practices of the Japanese vehicle manufacturers and in particular the Toyota Production System (TPS). In TPS the use of a resource that is not viewed as a value by the client should be a candidate for elimination (WOMACK and JONES, 1998). In general terms, lean thinking is defined and described by five key principles (WOMACK and JONES, 1998):

- **Specific value:** define value precisely from the perspective of the end customer in terms of the specific product with specific capabilities offered at a specific time;
- **Identify value streams:** identify the entire value stream for each product or product family and eliminate waste;
- **Make value flow:** make the remaining value creating steps flow;
- **Let the customer pull value:** design and provide what the customer wants only when the customer wants it;
- **Pursue perfection:** strive for perfection by continually removing successive layers of waste as they are uncovered.

One of the keys to lean thinking is simplification (PETTERSEN, 2009; KARIM and ZAMAN, 2013). Expanded to the context of the whole process, or plant, it gains the wider ability to save simultaneously resources and space, materials, energy, transportation and time. Considering economic principles, Ohno (1988) describes seven classic wastes in the context of manufacturing processes. They are overproduction, waiting, transport, extra-

processing, inventory, motion and defects. **Table 2** presents a list and the description of these wastes.

Table 39: The seven classic wastes

Type of Waste	Description
Overproduction	Producing more than is necessary at any one time
Transport	Unnecessary or longer than necessary transport of parts or products
Motion	Unnecessary or longer than necessary movements of people or machines
Over-processing	Using time or other resources on processing steps that do not add value to the product
Waiting	People waiting for parts from a previous operation
Inventory	Cash is tied up in “work-in-progress” and goods built without being pulled through for a specific customer order
Defects	Products that do not meet quality specifications require time to rework and/or scrapping of defective parts

Source: OHNO, 1988

Resource productivity and closed-loops provide better services, for longer periods, with less material, cost and hassle. The logic of lean thinking, with the emphasis on eliminating seven classic wastes, makes customer-defined value flow continuously with the aim of producing less waste. Together these practices offer the foundation for powerful new business logic. Instead of simply selling the customer a product, it is perceived appropriate, to derive what is desired, considering quantity, rate and manner. Based on the analysis of customer value, lean presents a set of tools and techniques for continuous improving processes and eliminating wastes (ROTHER and SHOOK, 2003).

The essence of lean thinking lies in people involvement (BHASIN and BURCHER, 2006; POLLITT, 2006). Kaizen (Japanese word meaning continuous improvement) provides the employees a platform to unleash their creativity. Dr. J. Edward Deming was the pioneer in such field, developing in the 1950s what was called the *Deming Cycle*, a simple and effective technique that serves as a practical tool to carry out continuous improvement in the workplace. This technique, also called PDCA Cycle, provides conceptual as well as practical framework, while carrying out Kaizen activities by the employees. According to Womack and Jones (1998), the key building block of lean thinking is Kaizen – a process oriented philosophy with focus on incremental improvements and standardization of the improved

system as the building block for further improvement. Kaizen philosophy has two major objectives (BERGER, 1997; SAURIN and FERREIRA, 2009):

- **Develop a problem solving culture:** with focus on analysis and problem solving by applying scientific and structured thinking. Lean philosophy presents a variety of tools and techniques with the ultimate goal of improving processes and eliminating wastes. Developing a problem solving culture is key for deploying the lean thinking (BERGER, 1997);
- **People involvement:** Kaizen relies on ongoing effort and engagement of people - it is based on the constant effort for involving and integrating people, from the shop-floor workers to the senior executives. For lean thinking the key for success is based on the capacity for training and involving everyone. Based on this idea, people-systems are considered more successful than software systems for sustaining the results. This creates a learning environment, with long term maintenance of results and openness for creativity and improvements (BERGER, 1997).

Understanding the role of Lean Thinking is key for deploying the L&GBM and for the development of this work. the idea of improving operations function performance by looking at it using different lenses and using lean thinking as framework for this deployment is the core objective of this research.

2.3 SUSTAINABILITY AND COMPRESSION

Humanity has always depended on the services provided by the biosphere and its ecosystems. Furthermore, the biosphere is itself the product of life on Earth. The composition of the atmosphere and soil, the cycling of elements through air and waterways, and many other ecological assets are all the result of living processes—and all are maintained and replenished by living ecosystems. The human species, while buffered against environmental immediacies by culture and technology, is ultimately fully dependent on the flow of ecosystem services. In this context, the sustainability concept was created.

Sustainability is a systemic concept relating to the continuity of economic, social and environmental aspects of human society. It is however part of a wider and evolving field of corporate social and environmental responsibility, which in modern times has its roots in Rachel Carson's "Silent Spring" (CARSON, 2010) and the Club of Rome's 'Limits to Growth'

analysis (MEADOWS et al., 1972) . The term was first used by the Brundtland Commission which coined what has become the most often-quoted definition of sustainable development as development that *"meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs"* (STERN, 2007; MAZUR and MILES, 2010).

The field of sustainable development can be conceptually broken into three constituent parts: environmental sustainability, economic sustainability and socio-political sustainability. **Figure 8** presents a representative scheme of sustainable development vectors.

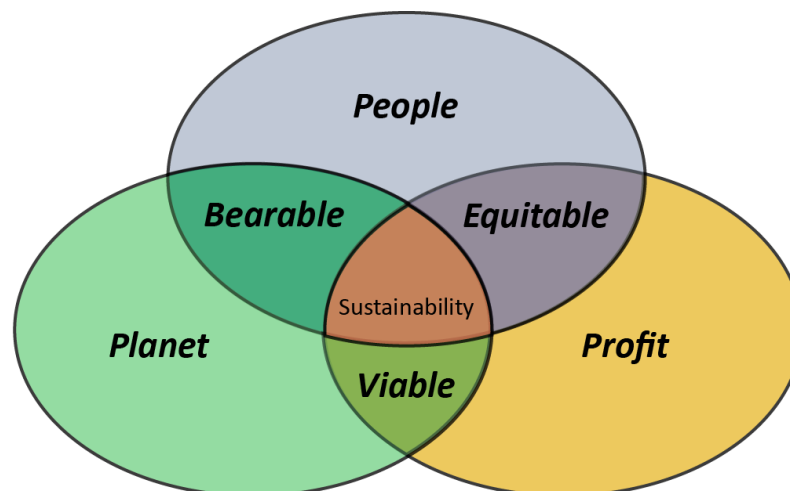


Figure 48: Sustainable development vectors
Source: Adapted from Zokaei et al., 2010

Sustainable development ties together concern for the carrying capacity of natural systems with the social challenges facing humanity (ZOKAEI et al., 2010; SCHRETTLE et al., 2013; GUNASEKARAN and SPALANZANI, 2012). Therefore it contains two key concepts: (1) the concept of needs, in particular the essential needs of the world's poor, to whom priority should be given; (2) the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs. All these definitions of sustainable development propose understanding the world as a system — a system that connects space and time. Therefore, the concept of sustainable development is rooted in systems thinking (LOVELOCK, 1990).

Sustainability is a big umbrella term addressing a host of issues (HALL, 2010). Many writers emphasize only a few aspects of sustaining the planet in a condition to support life, but the scope of concerns is so broad that it's difficult – or impossible – to think about them all at the same time. Consequently, an abundance of separate initiatives attack some aspect

of sustainability, local recycling, alternative energy ventures, permaculture, green building codes, etc.

The Lean and Green Report (ZOKAEI et al., 2010) provides an overview of some of these key management strategies or practices proposed to pursue sustainable development, such as Industrial Ecology (NIELSEN, 2007; TIBBS, 1992), Industrial Symbiosis (BOONS et al., 2011) Eco-efficiency (KORHONE, 2007) Triple Bottom Line (LENZEN, 2008), Natural Capitalism (ROBÈRT, 2002a; HAWKEN et al., 1999), The Natural Step (ROBÈRT, 2002b). An overview and the main essence of these associated practices are presented in **Table 3**.

Table 40: Overview of key strategies to achieve sustainability

Practice	Concept	Key Principles
1 - Industrial Ecology	Industrial Ecology (IE) is a framework for thinking about and organizing human economic and social systems in ways that resemble natural ecosystems. IE studies the flows of materials and energy in industrial and consumer activities to investigate their effects on the environment, and how economic, political, regulatory and social factors impact on the flow, use and transformation of resources. The uniqueness of IE is that it aims to show how environmental concerns can be integrated into economic activities. At the application level, IE offers tools for analysis of the interface between industry and environment, and provides a basis for managing environmental impacts (NIELSEN, 2007; TIBBS, 1992, EHRENFELD, 1981 apud ZOKAEI et al., 2010; GRAEDEL and ALLENBY, 2003 apud ZOKAEI et al., 2010; DESPEISSE et al., 2012)	(1) Show how environmental concerns can be integrated into economic activities; (2) Provides a basis for managing environmental impacts.
2- Eco-efficiency	It is based on creating more while using fewer resources and creating less waste and pollution. The seven critical factors for Eco-Efficiency are: reduction of the material intensity of goods and services; reduction of the energy intensity; reduction of toxic dispersion; enhancing material recyclability; maximizing sustainable use of resources; reduction of material persistence in nature; and increasing the service intensity of products (KORHONE, 2007; SCHMIDHEINY,1992)	(1) Focus on creating more while using fewer resources; (2) Creating less waste and pollution.
3- Triple Bottom Line - (TBL)	Triple Bottom Line agenda aims to integrate into corporate strategy and corporate governance a focus not just on the economic value that they add, but also on the environmental and social value that they add – or destroy. Supported by the United Nations the TLB has become a pervasive approach in public sector full cost accounting (LENZEN, 2008; ELKINGTON, 1998)	(1) Aims to integrate into corporate strategy focus the environmental and social value.

(Continues)

(Continuation)

Practice	Concept	Key Principles
4- Natural Capitalism	<p>Natural Capitalism pictures a new industrial system based on a very different mind-set and values from conventional capitalism. Natural capital refers to the natural resources and ecosystem services that make economic activities possible. Natural Capitalism is based on four strategies (HAWKEN et al., 1999):</p> <ul style="list-style-type: none"> e. Radical Resource Productivity: obtaining the same amount of utility from a product or process while using less material and energy in order to slow resource depletion and pollution at the same time. Radically increased resource efficiency – at least in theory – lowers costs for business and society. f. Bio-mimicry: imitating natural processes and products through design inspired by nature (as with eco-effectiveness). This changes the nature of industrial processes and products, enabling the constant reuse of materials in continuous closed cycles, use of compostable products and eliminating toxicity. g. Service and Flow Economy: This strategy calls for a fundamental change in the producer-consumer relationship by replacing physical goods with services where possible. Service providers become responsible for the product after use and it is to the benefit of suppliers to make products durable, generating less waste. h. Investing in Natural Capital: reversing world-wide planetary destruction by reinvestments in sustaining, restoring, and expanding stocks of natural capital, so that the ecosphere can produce more abundant ecosystem services and natural resources. 	<p>(1) Based on four strategies: (a) Radical Resource Productivity; (b) Bio-mimicry; (c) Service and Flow Economy (d) Investing in Natural Capital;</p> <p>(2) Pictures a new industrial system based on a very different mind-set and values than conventional capitalism.</p>
5- Industrial Symbiosis	<p>Industrial Symbiosis (IS) demands resolute attention to the flow of materials and energy via local and regional economies. IS engages traditionally separate industries in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and/or by-products. The keys to IS are collaboration and the synergistic possibilities offered by geographic proximity (BOONS et al., 2011; CHERTOW, 2000).</p>	<p>(1) Demands attention to the flow of materials and energy via local and regional economies.</p> <p>(2) Focus on synergistic possibilities offered by geographic proximity.</p>

(Continues)

(Continuation)

Practice	Concept	Key Principles
6- Eco-effectiveness	<p>Eco-effectiveness is based on a cradle-to cradle or closed-loop design strategy reflecting natural systems. These are not necessarily efficient individually, but are effective since there is no waste in the natural system as a whole. The principles of eco-effectiveness are: waste equals food (creating a closed loop industrial system), use the current solar income and celebrate diversity.</p> <p>Eco-effectiveness calls for transformation of human industry through ecologically intelligent design. It seeks to design industrial systems that emulate nature where waste from one sub-system is food for another. Eco-effectiveness proponents criticize the less radical eco-efficiency approach because it works with the same system that caused the problem in the first place, and mostly just reduces the pace of harm (ZOKAEI et al., 2010)</p>	<p>(1) Eco-effectiveness is based on a cradle-to-cradle or closed-loop design;</p> <p>(2) Proposes a strategy reflecting natural systems.</p>
7- The Natural Step	<p>The Natural Step (TNS) framework's definition of sustainability includes four system conditions (scientific principles) required for a sustainable world. The first three involve avoiding increasing concentrations of substances extracted from the earth's crust, concentrations of substances produced by society and degradation by physical means. The fourth principle argues for greater social equity to allow human needs to be met worldwide. The work on TNS framework was initiated by Professor Robèrt, in the 1980's and received wide attention from industry and policy makers during the late 1990's and 2000's. TNS looks at sustainable development at three levels (ROBÈRT, 2002b):</p> <ul style="list-style-type: none"> d. Principles of ecosphere governed by natural laws of physics; e. Principles of sustainability (the four system conditions in the opposite); f. Principles for a process to meet principles for sustainability (the transition towards sustainability, and then the safe development thereafter). 	<p>(1) Framework based on three drivers (a) principles of ecosphere governed by natural laws of physics, (b) principles of sustainability (c) principles for a process to meet principles for sustainability.</p>

(Continues)

		(Conclusion)
Practice	Concept	Key Principles
8- The Biosphere Rule	<p>In a nutshell, after 20 years of working in the industry, Unruh (2008) observed that the mantra for environmentally responsible materials management: Reduce, reuse, recycle, is not as lean as it seems. Manufacturing uses too many basic components and materials to be efficient. Unruh (2008) proposes that firms should imitate the 'lean' logic which nature uses to assemble life and structure ecosystems (he calls it bio-logic). In nature, only a few elements are used to create life (C, N, O, H), therefore when life ends, residues are readily recycled without 'toxic' waste. On the contrary, the industrio-logic of human manufacturing assumes that largely synthetic materials should be assembled or molded into desired shapes (UNRUH, 2008). Unruh suggests three important biosphere rules to be adapted by companies for both environmental and economic gain:</p> <ul style="list-style-type: none"> d. Use a limited palette of materials; e. Cycle up – prepare your product to be easily recycled into a new product; f. Exploit the power of platforms or common production systems. 	(1) Suggests three important biosphere rules to be adapted by companies for both environmental and economic gain

Source: Adapted from ZOKAEI et al. (2010), Lean & Green report

What comes after sustainability? Compression thinking (HALL, 2010) may answer this question. With a top level statement that establishes *“Assure survival of life and promote quality of life using processes that work to perfection with self-correcting, self-learning systems. No use of excess resources. No wasted energy. No toxic releases. Quality over quantity, always.”* compression thinking is based on the fact that the society is near a turning point, the end of expansion. Population is expanding on an earth with finite resources. Old thinking from the industrial revolution and financial thinking need to be changed. So, the case for compression is based on 4 main drivers (1) Finite Resources, (2) Precarious Environment, (3) Overconsumption, (4) Pushback, as in shown in **Figure 9**.

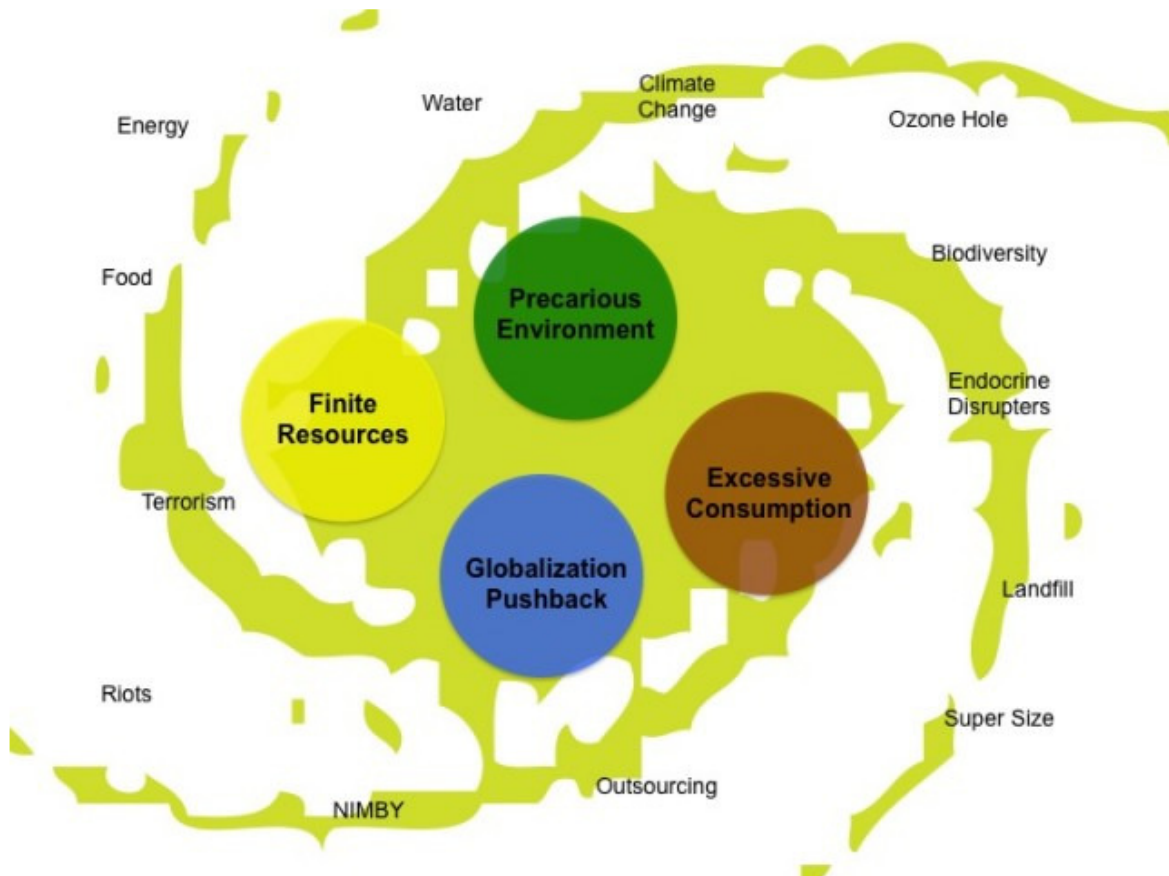


Figure 49: The case for compression, reprinted here with kind permission ©Robert Hall
Source: HALL (2010)

According to Hall (2010), lean thinking breaks a little from that, since its practitioners are used to removing waste from processes, not always represented by costs. But compression thinking has to step beyond that. Physical actions and their consequences must take priority over financial motivations. Conceptual basics that are part of compression thinking are well-known, but practice is slow to take hold. First, eliminate waste, things that add no value to anyone. Then conserve (reuse, repair, remanufacture, recycle and so on) and contain (hazardous material). Many individuals want to decrease their resource footprints, but until working organizations create practical systems they can use, their effect is minimal. Therefore, compression begs for fundamentally new economic thinking, looking behind financial transactions to see the physical reality of what society and corporations do. Also, compression is not pure environmental. Environmental concerns are only one reason to make systemic changes. It calls for a different mind-set, for an integrated approach in other deal with the increasing complexity of today's work.

Figure 10 shows how the three vectors presented by the sustainability concept are viewed based on compression thinking.

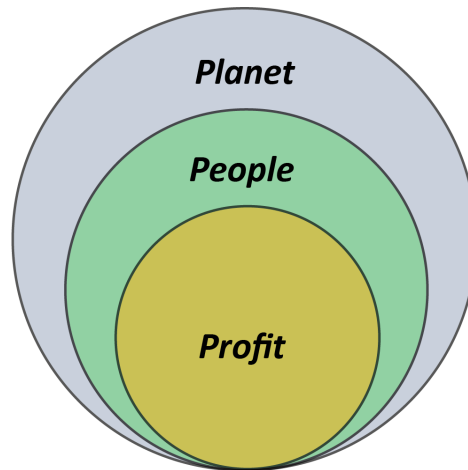


Figure 50: The three vectors presented by the sustainability concept based on compression thinking
Source: HALL (2011)

Following this, compression thinking proposes a new way to see environmental issues. Differently than the sustainability concept, it states that this should be part of bigger system, integrated into the core business model. Although compression has a much wider scope, it is understood that lean thinking may be a way to get into compression.

Understanding the roles of sustainability and compression concepts is fundamental for deploying the L&GBM and for the development of this work.

2.4 GREEN THINKING

The general idea behind the green thinking concept is the understanding of nature as something limited. Lozano (2008), in his article *Envisioning sustainability three-dimensionally*, reviews the concept of environmental sustainability established by several authors and states that the green thinking can be quoted as “*use of natural resources without going beyond the carrying capacities and the production of pollutants without passing the biodegradation limits of the receiving system*”.

Therefore, the general purpose of green thinking can be described in one dimension (Environment), with two main focuses (MOREIRA et al., 2010): (1) Producing with the maximum productivity in the use of natural resources and with the (2) minimum environmental impact. A green company acts (or claims to act) in a way that minimizes damage to the environment. To this end, a green company can apply different types of environmental practices. The Lean and Green Report (ZOKAEI et al., 2010) and the studies of

Glavic and Lukman (2007) and Lozano (2012) provide an overview of several of these practices.

Three key examples of well-known environmental practices (also known as green practices) include (i) cleaner production, (ii) eco-efficiency and (iii) life cycle analysis (LCA). For Cagno et al. (2005) and Kiperstok (2008), cleaner production is a preventive, company-specific environmental protection initiative. It is intended to minimize waste and emissions and to maximize productive output. By analyzing the flow of materials and energy in a company, source reduction strategies can be developed for minimizing waste and emissions in industrial processes. Improvements in organization and technology may help to reduce resource use or may suggest better choices in the use of materials and energy. These actions may lead to waste avoidance, including wastewater generation, gaseous emissions and waste heat and noise. According to Korhone (2007), eco-efficiency focuses on enhancing production while using fewer resources, which thus results in less waste and pollution. Seven critical factors are considered in eco-efficiency, including a reduction in the material intensity of goods and services, a reduction in energy intensity, a reduction in toxic dispersion, an enhancement of material recyclability, the maximum sustainable use of resources, a reduction in material persistence in nature and an increased service intensity of products. Finally, Haes (1993) notes that LCA models the complex interaction between a product and the environment from cradle to cradle, providing in-depth data on environmental impacts. LCA can be useful to manufacturing companies because it can show which activities, processes and materials lead to particularly large environmental impacts, which can in turn serve as targets for improvement.

A number of mechanisms have been proposed by which companies can assess, monitor and record the environmental impacts of their products, processes and other activities and verify that plans to reduce impacts will be effective. In general terms, green thinking practices, can be generalized by four common key principles:

- Identify environmental aspects and impacts;
- Measure environmental impact and the use of natural resources;
- Identify alternatives to (1) impact reduction and (2) resources productivity;
- Continuous Improvement.

Over the past decades, many different green practices were created proposing the co-existence of the industry, the business, the people, the natural environment and their

interactions, such as Eco-Design and Design for Environment (DIEHL and BREZET, 2004), Life cycle analysis, (HAES, 1993), Cleaner Production (CAGNO et al., 2005; KIPERSTOK, 2008), Environmental Management Systems (RONDINELLI and VASTAG, 2000), Environmental Performance Evaluation (JASCH, 2000). An overview and the main essence of five of these environmental sustainable practices is presented below in **Table 4**.

Table 41: Overview of key strategies to achieve sustainability

Practice	Concept	Key Principles
1 - Eco-Design & Design for Environment (DFE)	It is based on the principal of designing physical objects and services to comply with the principles of economic, social, and ecological sustainability in all stages of product or service development with the ultimate goal of reducing environmental impact in the whole product or service life cycle. While the practical application varies among disciplines, the seven more common principles applied to eco-design are as following (DIEHL and BREZET, 2004): Product dematerialization; Product functional optimization; Reduction the number of parts and materials; Production and transport optimization; Materials selection and design; Reduction of product usage impact; Increase product life cycle.	(1) Design with environmental focus -Reduction the number of parts and materials; (2) Selection of low impact materials; (3) Reduction usage impact - Increase product life cycle.
2 - Life cycle analysis (LCA)	LCA models the complex interaction between a product and the environment from cradle to cradle Life cycle analysis can be an expensive and lengthy process but provides in-depth data on the environmental impacts. An LCA can be useful to manufacturing companies because it can show which activities, processes, materials are creating particularly large environmental impacts, so that these can be targeted for improvement. The process has two main steps: the inventory step, where the life-cycle of the product, service is described and the raw material usage and emissions at each stage is recorded; and the impact assessment stage, where data is accessed to understand how much impact of what type is associated with the emissions and material usage (HAES, 1993; MORAES et al., 2010).	(1) Mass & Energy Inventory ; (2) Impact assessment;

(Continues)

(Continuation)

Practice	Concept	Key Principles
3 - Cleaner Production	<p>Cleaner production is a preventive, company-specific environmental protection initiative. It is intended to minimize waste and emissions and maximize product output. By analyzing the flow of materials and energy in a company, one tries to identify options to minimize waste and emissions out of industrial processes through source reduction strategies. Improvements of organization and technology help to reduce or suggest better choices in use of materials and energy, and to avoid waste, waste water generation, and gaseous emissions, and also waste heat and noise. Examples for cleaner production options are presented below (CAGNO et al., 2005): Documentation of consumption (as a basic analysis of material and energy flows); Use of indicators and controlling (to identify losses from poor planning, poor education and training, mistakes); Substitution of raw materials and auxiliary materials (especially renewable materials and energy); Increase of useful life of auxiliary materials and process liquids (by avoiding drag in, drag out, contamination); Improved control and automatization; Reuse of waste (internal or external); Low waste processes and technologies,</p>	<p>(1) Process Data Collection; (2) Define Metrics - Key performance indicators; (3) Pollution Prevention; (4) Focus on the 3 R's: Reduce, Reuse, Recycle</p>
4 - Environmental Management Systems (EMS)	<p>An Environmental Management System (EMS) is a structured framework for managing an organization's significant environmental impact. The standard for EMS is ISO 14001, which is based on Deming's cycle of plan, do, check, and act. Companies are required to assess their main environmental impacts, and then plan to reduce them. Elements of the EMS include workforce involvement and continuous improvement and also measuring, recording and auditing impacts and the efforts to reduce them. ISO 14000, the International Organization for Standardization's guidelines for environmental management systems, has become the international benchmark by which corporations can voluntarily develop and assess their environmental practices (RONDINELLI and VASTAG, 2000; NAWROCKA et al., 2009; GAVRONSKI et al., 2013). It offers a format for developing an environmental policy, identifying environmental aspects, defining objectives and targets, implementing a program to attain a company's goals, monitoring and measuring effectiveness, correcting deficiencies and problems, and reviewing management systems to promote continuous improvement. The main objectives of such standard is supporting organizations for minimizing operations environment negative effect (that cause adverse changes to air, water, or land) and comply with applicable laws and regulations (ISO14001:2004).</p>	<p>(1) Pollution Prevention; (2) Accomplishment of legal requirements; (3) Continuous Improvement.</p>

(Continues)

(Conclusion)

Practice	Concept	Key Principles
5 - Environmental Performance Evaluation (EPE)	Environmental Performance Evaluation (EPE) is a management technique that allows evaluation of a company's environmental performance through self-defined criteria and requirements. The consequent data evaluation provides substantial information to the Environmental Management System (EMS), permitting the development and tracking of application-specific measurable objectives, goals and strategies. EPE is a highly adaptable technique, which allows the creation of customized models. This concept has been described in the ISO 14031:2000 standard (JASCH, 2000).	(1) Define Metrics – Key performance indicators; (2) Data Collection; (3) Continuous Improvement.

Source: Adapted from ZOKAEI et al. (2010), Lean & Green report

Understanding the role of Green Thinking is key for deploying the L&GBM and for the development of this work.

2.5 LITERATURE REVIEW FUNDAMENTAL BUILDING BLOCKS

As discussed previously, systems' thinking concerns an understanding of a system by examining the linkages and interactions between the elements that compose the entirety of the system.

Considering the foreground literature, the basis for this research is rooted in four main pillars: the understanding about **operations management**, the main principals that make manufacturing behave the way it is, **lean thinking**, and why it changed manufacturing ways of working, **sustainability** and **green thinking**, how it is integrated to the manufacturing world. Opening a bit more these streams of thinking, **Table 5** presents the fundamental building blocks of studied foreground literature. The intersection between these three main knowledge streams, presented in **Table 5**, will be analyzed in Chapter 3 and will provide foundation for the development of the L&GBM.

Table 42: Foreground literature fundamental building blocks

	Operations Management	Lean Thinking	Sustainability	Compression	Green Thinking
What is it?	Function within the organization responsible for the flow of material through a plant and for developing whatever it takes to get product out the door.	A model of “how to run” an efficient and effective manufacturing organization.	Systemic concept relating to the continuity of economic, social and environmental aspects of human society.	The concept is based on the fact that the society is near a turning point, with finite resources. Old thinking from the industrial revolution and financial thinking need to be changed.	Series of mechanism or practices created to better using natural resources or reducing of environmental impact.
Purpose	Support, implement and drive business strategy.	“Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste.” (BICHENO, 2000)	"Meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs." (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987)	“Assure survival of life and promote quality of life using processes that work to perfection with self-correcting, self-learning systems. No use of excess resources. No wasted energy. No toxic releases. Quality over quantity, always.” (HALL, 2010)	“Use of natural resources without going beyond the carrying capacities and the production of pollutants without passing the biodegradation limits of the receiving system.” (LOZANO, 2008)
Dimensions	(1) Quality (2) Delivery (3) Cost	(1) Safety (2) Quality (3) Delivery (4) Cost	(1) Social (2) Economic (3) Environment	(1) Social (2) Economic (3) Environment (4) Quality	(1) Environment
Main principles	NA	1. Specific value 2. Identify value streams 3. Make value flow 4. Let the customer pull value 5. Pursue perfection	NA	NA	1. Identify environmental aspects and impacts 2. Measure environmental impact and the use of natural resources 3. Identify alternatives to (a) impact reduction and (b) resources productivity 4. Continuous Improvement
Examples of working tools	Six sigma Industrial Engineering tools	Lean Thinking tools Kaizen Problem solving People involvement	Industrial Ecology Industrial Symbiosis Eco-efficiency Eco-effectiveness Triple Bottom Line Natural Capitalism The Natural Step The Biosphere Rule	Mass & Energy balance Lean Thinking tools (Kaizen, Problem solving, People involvement)	Eco-Design Design for Environment (DFE) Life cycle analysis (LCA) Cleaner Production Environmental Management Systems (EMS) Environmental Performance Evaluation (EPE)

NA = Not applicable

CHAPTER 3: LITERATURE ANALYSIS

Chapter 2 explored the main characteristics, dimensions and fundamental building blocks of the main bodies of literature that compose this study. The objective of chapter 3 is analyzing the gaps and interactions of the individual blocks of literature that compose this work to establish the basis for the L&GBM. **Figure 11** presents a schematic representation of what will be performed in this chapter.

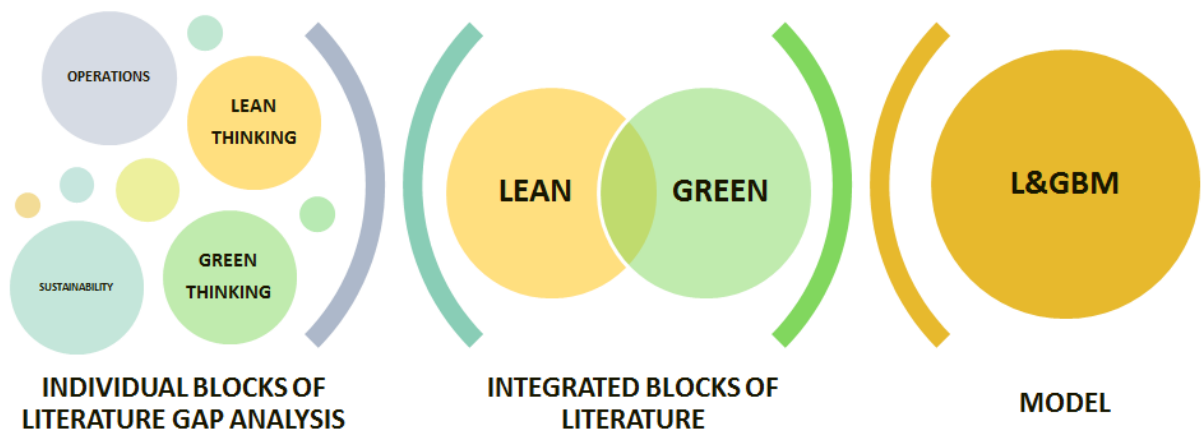


Figure 51: Schematic representation of literature analysis
Source: Developed by the author.

Table 6 presents the structure of the literature analysis that will be developed and hypothesis that will be explored.

Table 43: Literature analysis structure

Analysis structure	Hypothesis to be tested:
Analysis of lean and green taking an operations perspective	(1) Lean practices require a higher level of integration with manufacturing than green practices. (2) Green practices should consider a higher level of integration with manufacturing ways in order to achieve better results.
Analysis of lean and green taking a sustainability perspective	(3) Most sustainability/green practices do not full contribute with the three core sustainability dimensions. (4) Pure lean thinking contributes to two sustainability dimensions – (i) profit and (ii) people.
Analysis of green taking a lean perspective	(5) Although they can support business improvement and strategy (such as reducing costs), environmental practices are often stated to be environmental protection initiatives. (6) There are several examples proofing the synergy between lean and green practices but few have proposed a different way of thinking.
Analysis of lean taking a green perspective	(7) The application of pure lean promotes environmental improvement even though there is no direct intention to reduce environmental impact. (8) A new way of thinking can be created by integrating to the pure lean thinking one new dimension – (iii) the planet.

Chapter 3 aims to answer the following questions:

- What are the differences between a lean and a green manufacturing? How green thinking is applied to operations management?
- How do sustainability practices support sustainability dimensions? How does lean thinking support sustainability dimensions?
- What are the lean thinking fundamentals already explored by environmental practioners?
- Does pure lean promote environmental improvement?
- What was said so far about lean and green – Is this a new and solid form of thinking?
- What should be part of the Lean and Green integrated model in order to transform this in a way of thinking?

In order to create the basis for the L&GBM, this chapter is finished presenting a brief discussion about the main inputs from the literature analysis, articulating the main drivers about how lean, sustainability, compression and environmental sustainable practices can be integrated in a manufacturing environment.

3.1 ANALYSIS OF LEAN AND A GREEN TAKING AN OPERATIONS PERSPECTIVE

According to Hopp and Spearman (2008), operations management is a function within the organization responsible for the flow of material through a plant and for getting product out the door. Therefore, the role of operations management is strategic. Designing the way that manufacturing will be developed is a core task in this process.

Manufacturing may be designed in a variety of different ways and approaches. This study is interested in understanding the differences and characteristics of a lean and a green manufacturing.

The first thing that is important to highlight is that taking a lean or a green manufacturing approach is an organizational strategic decision, since this will drive the behaviors and process of the whole organization. Both lean and green manufacturing are concerned in the way that waste is handled. Perhaps, waste concept in this case has different meanings.

A lean manufacturing perceives waste as non-value added to the customer (BICHENO, 2000). Wastes in this case are overproduction, waiting, transport, extra-processing, inventory, motion and defects. A lean manufacturing company is one that considers the expenditure of resources for any goal other than the creation of value for the end customer to be wasteful, which thus becomes a target for elimination (WOMACK and JONES, 1998). For reducing lean wastes it is important to understand the way that manufacturing occurs and its ways of working. To achieve this, a lean enterprise is supposed to not only apply the five lean principles but also integrate tools that assist in improving quality and identifying and eliminating waste. Examples of such "tools" are Value Stream Mapping, 5S, Kanban (pull systems), and poka-yoke (error-proofing) (BICHENO, 2000). As waste is eliminated and quality improves, production time and costs are reduced. Essentially, lean manufacturing is centered on preserving value with less work.

On the other hand, green manufacturing focuses on the environment and perceives waste as the extraction and the disposal of resources at rates or in forms beyond that which nature can absorb (LOZANO, 2008b). In other words, environmental waste is an unnecessary or excessive use of resources or substances released to the air, water or land that could harm human health or the environment (EPA, 2006). Environmental wastes in this case are based on the mass and energy flow of the manufacturing processes, everything that enters

and leaves the system. Environmental waste can occur when a company uses resources to provide products or services to customers and/or when customers use and dispose of products (EPA, 2006). For reducing environmental wastes it is important to understand in detail the mass and energy flows of the manufacturing processes, what is used, how much, where it comes from, what is generated after production and how the leftovers from production will be treated. A green manufacturing company acts (or claims to act) in a way that minimizes the impact to the environment. To this end, a green company can apply different types of environmental practices. The overall objective of such environmental practices is to (i) improve the productivity in the use of natural resources, such as energy and materials, and (ii) reduce environmental impact (MOREIRA et al., 2010).

Although lean and green manufacturing can be both considered strategies to run and to improve manufacturing, they have distinct characteristics. The difference here is not just the waste concept already explored, but the focus and the level of integration both need to have with the manufacturing processes prior to be implemented. If one intends to be lean and to apply lean working tools it is required a deep understanding and integration with all manufacturing processes. Nevertheless, the environmental improvement may occur focusing on the manufacturing mass and energy flows and without a deep understanding of the manufacturing processes and procedures. Therefore, lean manufacturing touches the heart of the manufacturing processes, although green manufacturing may exist without this level of integration.

This situation highlights an important characteristic that drives distinct behaviors in implementing lean and green tools. While the application of a lean manufacturing tool to reduce waste and to improve production flow requires deep changes in the manufacturing ways of working (machines, process, people, materials), the implantation of an environmental tool, to reduce environmental wastes, may happen with a focus only on in the improvement of mass and energy flows, leaving sometimes out of this process, not only manufacturing ways of working, but also machines, process, people. Therefore, since it does not present a systematic approach for dealing with all manufacturing variables, in many situations green manufacturing improvements are considered something “nice to have” as long as “real manufacturing” is done.

This idea may partially explain a question asked by Kiperstok (2000) when reviewing a well-known green practice, cleaner production. In the article the author starts by asking the

following question: *“If cleaner production practice so obviously makes common sense, why do they not occur naturally in industry?”* Lack of integration may be the answer here. Jabbour et al. (2012) developed a study regarding EMS deployment in Brazil. According to the authors, environmental management can be considered a new competitive manufacturing priority in companies located in Brazil, capable of influencing the manufacturing dimensions of cost, quality, flexibility and delivery. The study of 63 companies suggests that green thinking needs to be integrated to other functional areas in order to succeed and deliver a competitive advantage.

The success of lean thinking in solving manufacturing problems, in integrating with manufacturing variables and in understanding the manufacturing characteristics (SAURIN and FERREIRA, 2009; YANG et al., 2011) shows an important characteristic to be taken into consideration in order to green practices to succeed in terms of being accepted and considered as part of manufacturing world: To succeed in manufacturing, the strategy needs to be completely integrated to the manufacturing ways of working and variables (JABBOUR et al., 2012). Otherwise no long term survival can be guaranteed.

3.2 ANALYSIS OF LEAN AND GREEN TAKING A SUSTAINABILITY PERSPECTIVE

Sustainability is the capacity to endure. For human beings, sustainability is the potential for long-term maintenance of well-being, which has ecological, economic, political and cultural dimensions (SCHRETTLE et al., 2013). The difficulty in making the sustainability concept and its application clear has been explored by many researchers to understand the concept more deeply. The Journal of Cleaner Production has contributed significantly in this field, publishing several studies related to the theme. Glavic and Lukman (2007) present a study that summarizes the definition of sustainability and its terms. Lozano (2008b) identifies the need for many to fully understand the concept, presenting a study that not only expands the concept of sustainability but also clarifies its dimensions. The same author in a second study (LOZANO, 2012) presents research that discusses how a company’s voluntary sustainability initiatives contribute to the sustainability dimensions.

Table 7, adapted from Lozano’s study, presents a list of these sustainability/green strategies (most of which also explored by the Lean and Green Report (ZOKAEI et al., 2010)) and how they contribute to the sustainability three-core dimensions of (1) Economic, (2)

Environment and (3) Social. With different structure and priorities, all these strategies describe conditions for sustainable systems and propose strategies in order to make the sustainable development concept viable.

Table 44: Examples of sustainability/corporate strategies and its contribution to the sustainability dimensions

Sustainability/Corporate Strategies	Sustainability Dimensions		
	Profit / Economic	Planet / Environment	People / Social
Sustainable Livelihoods	Full contribution	Full contribution	Full contribution
Triple Bottom Line	Full contribution	Full contribution	Full contribution
The Natural Step	Partial contribution	Full contribution	Partial contribution
Environmental Management System	None	Full contribution	None
Environmental and Social Accounting	Full contribution	Full contribution	Full contribution
Life Cycle Analysis	None	Full contribution	None
Cleaner Production	Full Contribution	Full contribution	None
Design for Environment	None	Full contribution	None
Eco-efficiency	Full Contribution	Full contribution	None
Industrial Ecology	Full Contribution	Full contribution	None
Factor X	Partial contribution	Full contribution	None
Green Chemistry	None	Full contribution	None
Corporate Social Responsibility	None	Partial contribution	Full contribution
Sustainable Reporting	Full contribution	Partial contribution	Partial contribution
Corporate Citizenship	None	None	Full contribution

Source: Lozano (2012).

The conclusion drawn from **Table 7** is that, although these concepts are 20 years old, most of those sustainability/green strategies have their main focus on environmental conservation. The majority, as they are proposed, are not integrated, or part of, the fundamental building blocks of the manufacturing strategies.

Therefore, following that idea, it is possible to conclude that there is a lack of sustainability/green strategies capable of contributing to the core three dimensions of sustainability (people, profit and planet) that are fully integrated to the main aspects of the business. Although the sustainability is a systemic concept, proposing the integration of environmental issues with social and economic aspects of the society, balancing our transaction activities in order to reflect natural systems, the most popular environmental sustainable practices are not able to cope with the three sustainability dimensions.

As discussed previously, Bicheno (2000) argues that, the general purpose of lean thinking can be described in four main dimensions (1) S-Safety, (2) Q-Quality, (3) D-Delivery

and (4) C-Cost. It means that, *“producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste”* is the ultimate goal of a lean enterprise. Therefore, lean thinking focuses on the optimization of production resources oriented by the customer – time, people, machine, space, etc, and consequently reduces wastes.

According to Hines et al. (2004), pure lean thinking not only focuses on one dimension of sustainability, (1) profit, but also supports another, the (2) people. Considering scientific methods and involvement of people as basis for its tools, and technique, lean presents a robust methodology for incorporating the social, people dimension in a system thinking approach. Therefore, according with the authors, pure lean thinking contributes to two dimensions of the sustainability concept, namely:

- Fully contributes to the **profit dimension** due to its core focus on eliminating the seven classic wastes and reducing costs and;
- Partially contributes to the **people dimension** due to its focus on the “Kaizen” continuous improvement philosophy for solving problems and involving people.

Hawken et al. (1999) discuss that there is a great potential for integrating lean thinking with environmental sustainability. Lean created a new manufacturing paradigm, which includes an environmental sustainability element. Therefore, lean thinking is green when it also considers the reduction of materials and energy that are required by the production as well as the wastes produced by production. Until recently lean manufacturing and the application of lean thinking has concentrated on the economic and some of the social aspects of sustainability. However, the essence of lean is to produce more with less, this implies that lean thinking organizations use less resource, in regards with raw materials and energy.

According to Hall (2010), although lean thinking already explores some aspects of sustainability, people and profit, sustainability goes beyond, including the idea of environmental impact — mass and energy flow of everything that enters and leaves the system. Therefore, based on lean thinking approach, to manage the three core sustainability dimensions (people, profit and planet), a lean manufacturing business has to focus on eliminating wastes (profit), “Kaizen” (people) and also explain the movement of mass and energy within and through boundaries, even if these boundaries are only a production cell, the entire factory or the supply chain (planet).

3.3 ANALYSIS OF GREEN TAKING A LEAN PERSPECTIVE

The general idea behind the green thinking concept is the understanding of nature as something limited. The general purpose of green thinking can be described in one dimension (Environment), with two main foci (MOREIRA et al., 2010): (1) Producing with the maximum productivity in the use of natural resources and with the (2) minimum environmental impact.

Although the idea of lean thinking has not been extensively explored by environmental practitioners, many articles have referred to lean thinking fundamentals, such as the need for people involvement (BOYLE, 1999; PERRON et al., 2006; REMMEN and LORENTZEN, 2000; STONE, 2000; VENSELAAR, 1995), learning by doing (DIELEMAN and HUISINGH, 2006), continuous improvement (FRESNER, 1998) and problem-solving tools (CALIA et al., 2009). These principles have been used in studies that apply environmental practices to show that there is a connection between lean and green practices. **Table 8** presents some of those articles.

Table 45: Articles that present integration between lean thinking ideas and green practices

Integrating lean fundamentals & green practices	Title	Authors	YEAR
Continuous improvement	Starting continuous improvement with a cleaner production assessment in an Austrian textile mill	FRESNER	1998
Employee involvement	Environmental training: industrial needs	VENSELAAR	1995
	Cleaner Production”; Training; Asia; Workshops; “Waste minimization	BOYLE	1999
	When case studies are not enough: the influence of corporate culture and employee attitudes on the success of cleaner production initiatives	STONE	2000
	Employee participation and cleaner technology: learning processes in environmental teams	REMMEN and LORENTZEN	2000
	Improving environmental awareness training in business	PERRON et al.	2006
	A learning and knowledge approach to sustainable operations	GAVRONSKI et al.	2012
Learn by doing	Games by which to learn and teach about sustainable development: exploring the relevance of games and experiential learning for sustainability	DIELEMAN and HUISINGH	2006
Application of problem solving tools	The impact of Six Sigma in the performance of a Pollution Prevention program	CALIA et al.	2009

These authors state that there are intrinsic linkages between lean and green. Lean tools and fundamentals are successful when used for promoting environmental improvements.

Another good example of this integration is the Kyosei concept (KAKU, 1997; LOZANO, 2008a). Lozano (2008a) explores the idea that engagement and collaboration are key to creating a sustainable organization. According to this author, collaborative approaches can help to build stronger and more sustainability-oriented organizations because collaboration is a key element in helping individuals to understand that they belong to a larger system. Environmental management and sustainable development both require companies to participate in collaborative actions that link business issues to environmental and social concerns. Kaku (1997), reports that by following the Kyosei concept, Canon has been able to reduce emissions and resource use while simultaneously increasing its revenues. The concept of Kyosei, particularly its emphasis on engagement, collaboration and inter-personal and inter-group interactions, is achieved by lean enterprises that apply Kaizen.

To the researchers that recognize the existence of lean thinking, there have been several initiatives discussing positive and negative aspects of using lean to support the environment, using different aspects and tools of lean for solving environmental problems.

Hawken et al. (1999), have discussed that there is a great potential of integrating lean thinking with green thinking. Since the essence of lean is to produce more with less, this idea implies that lean thinking organizations use less resource, regarding of raw materials and energy.

According to Gustashaw and Hall (2008), in an organization in which lean is already the heart of its business system, and Kaizen is the basis for continuous improvement culture, the same strategy could be expanded for improving production energy and material flows. Deploying a strategy of improving the way that products and materials are sourced, manufactured, marketed and disposed at the end of its life-cycle means that lean thinking can be used for creating a sustainable manufacturing. The author states that by lean logic, or thermodynamic environmental improvement of mass-energy balances, the holistic improvement within a factory system boundary can greatly benefit an existing business model. There are few practices or models (Kurdve et al., 2011) that integrate lean thinking and green thinking and merge its fundamental principles.

Hajmohammad et al. (2013) in a study comparing lean and green practices concluded that environmental practices are the main driver for on reaching better environmental performance. Therefore, integration is key. A model that connects a lean thinking approach to green business practices is also supported by pure green practices. Many researchers have studied and proposed integrated approaches (ATKINSON, 1994; CAGNO et al., 2005; ZWETSLOOT, 1995). Some of them explore the context of greener manufacturing (BALDWIN et al., 2005; DEIF, 2011; HUI et al., 2001; SILVA and AMARAL, 2009; XUE et al., 2007). Others explore limitations and success factors in cleaner production, pollution prevention initiatives, leadership support factors and possibilities for integration into existing business models (BAAS, 1995, 2007; BERKEL, 1994; HÖJER et al., 2008; ROBÈRT et al., 2002a, 2002b; STONE, 2006a, 2006b; ZWETSLOOT and GEYER, 1996). **Table 9** presents a list of examples.

Table 46: Articles that explore the idea of integrated approaches to connecting business thinking (such as lean) and the green

KEY	Title	Authors	YEAR
ARTICLES THAT PROPOSE THE NEED OF POLLUTION PREVENTION INTEGRATION INTO EXISTING SYSTEMS	Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports	Enrico Cagno et al.	2005
	Improving cleaner production by integration into the management of quality, environment and working conditions	Gerard I.J.M. Zwetsloot	1995
	New models of pollution prevention technical assistance	Robert D. Atkinson	1994
ARTICLES THAT EXPLORE THE IDEA OF INTEGRATED APPROACHES TO MANUFACTURING, GREEN MANUFACTURING	A study of the Environmental Management System implementation practices	I.K Hui et al.	2001
	Modeling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development	James Scott Baldwin et al.	2005
	A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management	Kainuma and Tawara	2006
	Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input–output models	H. Xue et al.	2007
	An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes	Silva and Amaral	2009
	A resource-based view of green supply chain	I. Gravronski et al.	2011
	A system model for green manufacturing	Ahmed M. Deif	2011
ARTICLES THAT EXPLORE SOME LIMITATIONS AND SUCCESS FACTORS OF CLEANER PRODUCTION, POLLUTION PREVENTION INITIATIVES EXPRESSING THE NEED FOR A STRATEGIC APPROACH, LEADERSHIP SUPPORT AND INTEGRATION INTO THE EXISTING BUSINESS MODELS	Comparative evaluation of cleaner production working methods	C.W.M. van Berkel	1994
	The essential elements for successful cleaner production programmes	Zwetsloot and Geyer	1996
	To make zero emissions technologies and strategies become a reality, the lessons learned of cleaner production dissemination have to be known	Leo Baas	2007
	Cleaner production: beyond projects	Leo W. Baas	1995
	Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents I. Achieving commitment and on-going improvement	Lesley J. Stone	2006
	Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents. II. Leadership, support, communication, involvement and programme design	Lesley J. Stone	2006
	Strategic sustainable development — selection, design and synergies of applied tools	K.-H. Robèrt et al.	2002
	Scenarios in selected tools for environmental systems analysis	Mattias Höjer et al.	2008
	Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms	Yang et al.	2011
	Environmental Management in Brazil: is it a completely competitive priority	Jabbour et al.	2012

While these researchers have explored the idea of an integrated approach, no one has fully explored the potential of adapting lean thinking to establish a new model for pollution prevention. Nevertheless, existing research supports the following conclusions:

- The main objectives of environmental practices are (i) improving the use of natural resources and (ii) reducing the environmental impact. Although these can support business improvement and strategy (such as reducing costs), environmental practices are often stated to be environmental protection initiatives.
- There are few practices or models (KURDVE et al., 2011) that integrate lean thinking and green thinking and merge its fundamental principles (for lean manufacturing, the five key principles; for green manufacturing, (i) improving the use of natural resources and (ii) reducing environmental impacts) to create an integrated model that considers and prioritizes lean and green manufacturing simultaneously.
- There is no environmental practice that considers a certain level of manufacturing stability, or lean deployment, as a prerequisite.

3.4 ANALYSIS OF LEAN TAKING A GREEN PERSPECTIVE

There has been a concern among lean researchers that improving environmental performance may undermine the economic sustainability of an organization and that many businesses could not afford the cost of meeting their environmental responsibilities (FLORIDA, 1996; FOUND, 2009). However, there are many examples in which improving environmental performance has improved a company's profit. Moreover, several authors have identified that lean manufacturing has had a significant contribution to the environment (COBERT and KLASSEN, 2006; KING and LENOX, 2001; MAXWELL et al., 1993; PORTER and VAN DER LINDE, 1995).

Several studies analyzing synergies between pure lean thinking and environmental improvement practices discuss the positive and negatives aspects of using lean manufacturing to support environmental practices. These studies apply different aspects and tools of lean manufacturing to solve environmental problems and therefore contribute to more sustainable business.

Vais et al. (2006) published a study entitled "Lean and Green," which considers a Romanian secondary tissue paper and board mill. They analyzed the development of

technical environmental projects aimed at accomplishing legal requirements and the use of lean tools, such as 5S, the Kaizen philosophy and autonomous maintenance; these tools were used to develop incremental improvements, which in turn optimized the use of natural resources and production output.

EPA published *The Lean and Environmental Toolkit* in December 2006 (EPA, 2006) to demonstrate that traditional lean tools can be applied to environmental waste. This manual established guidelines for using lean manufacturing tools to improve material flow in the main flows that support the production process and that in turn can affect the environment (such as energy, chemicals and other kinds of waste). Some of the key findings reported by EPA are: (1) Lean produces an operational and cultural environment that is highly conducive to waste minimization and pollution prevention; (2) Lean can be leveraged to produce even more environmental improvement; (3) Some regulatory "friction" can be encountered when applying lean to environmentally-sensitive processes; (4) Environmental agencies have a window of opportunity – while companies are embarking on lean initiatives and investments - to collaborate with lean promoters to further improve the environmental benefits associated with lean.

Biggs (2009) conducted an in-depth study on the integration of lean thinking and environmental improvement, concluding that the lean approach can help to make the case for environmental impact reduction to businesses. This is because lean thinking is capable of providing environmental benefits, even though there is no direct intention to reduce environmental impact, and moreover, lean thinking can be used to make environmental improvements as well as productivity improvements. **Table 10** presents the connection between the seven classic lean wastes types and their impact in the environment presented in the study.

Table 47: Table summarizing environmental impact and waste

Waste Type	Examples	Environmental Impacts
Defects	Scrap, rework, replacement production, inspection	Raw materials consumed in making defective products Defective components require recycling or disposal More space required for rework and repair, increasing energy use for heating, cooling, and lighting
Waiting	Stock-outs, lot processing delays, equipment downtime, capacity bottlenecks	Potential material spoilage or Component damage causing waste Wasted energy from heating, cooling, and lighting during production downtime
Overproduction	Manufacturing items for which there are no orders	More raw materials consumed in making the unneeded products Extra products may spoil or become obsolete requiring disposal
Movement	Human motions that are unnecessary or straining, carrying long distances, transport	More energy use for transport Emissions from transport More space required for movement, increasing lighting, heating, and cooling demand and energy consumption More packaging required to protect components during movement
Inventory	Excess raw material, work-in-process (WIP), or finished goods	More packaging to store work-in process Waste from deterioration or damage to stored WIP More materials needed to replace damaged WIP More energy used to heat, cool, and light inventory space
Complexity	More parts, process steps, or time than necessary to meet customer needs	More parts and raw materials consumed per unit of production Unnecessary processing increase wastes, energy use, and emissions
Unused creativity	Lost time, ideas, skills, improvements, and suggestions from employees	Fewer suggestions of pollution prevention and waste minimization opportunities

Source: BIGGS, 2009

Biggs’s (2009) conclusion supports those of Womack and Jones (1998), who maintained that lean thinking principles can help make green practices more effective by exposing hidden green waste and eliminating it. The highlights of some of the authors’ findings are:

- Lean, as it is, is capable of providing environmental benefits even though there is no direct intention to reduce environmental impact; Reduction of lean wastes has effects in reducing environmental impacts.
- The application of lean tools, such as reduction of inventory (Kanban), Just in Time, Right first time, Kaizen, Standard Work, 5S, mapping and problem solving can support the reduction of environment impact;

- The lean methodology can be used to make environmental improvements as well as productivity improvements;
- Kaizen/Continuous Improvement (CI), kaizen blitz and workforce involvement and suggestions are popularly suggested methods of gaining environmental benefit from a Lean implementation;
- It is the culture of waste elimination and experimentation, problem solving and improvement of best practice encouraged by Lean that may help companies to make environmental improvements;
- A lean approach can help to make the business case for environmental impact reduction.

Moreira et al. (2010) developed a study integrating the concepts of lean thinking and eco-efficiency. After analyzing several publications that explore the relationship between lean and green manufacturing, the authors identified the three main causes of production waste due to weak environmental performance: (1) energy consumption, (2) material consumption and (3) pollutant emissions. The authors developed a framework for integrating the seven classic lean wastes (i.e., overproduction, inventory, transportation, motion, defects, waiting and over-processing) with previous types of environmental impact, energy use, materials consumption and emissions, and they showed that environmental waste is embedded within the seven classic production wastes. Although the authors do not explicitly outline the main characteristics of lean thinking, this study supports the notion that lean thinking can help make the case for environmental impact reduction to businesses.

Salleh et al. (2012) developed a system that integrates information management in environmental management systems practices with TQM (Total Quality Management) in lean manufacturing. The goal of this system is to achieve total communication efficiency using a green and lean TQM system. This system manages information while also addressing environmental concerns. This study provides some preliminary insights, especially for companies looking for a suitable system to improve their productivity through efficient information management. The study further proves that lean and green information systems can be integrated and that the same database can support both systems.

In more recent research, Dues et al. (2012) discussed how lean practices can act as catalysts for greening operations. The authors suggest that the lean and green connection goes beyond the notion of waste reduction and in fact overlaps in areas such as (1) tools and

practices, (2) supply chain relationship, (3) lead time reduction, (4) the focus on people and organization and (5) the use of techniques for waste reduction. The applied literature analysis developed by the authors identified that lean manufacturing not only serves as a catalyst but also is synergetic for green manufacturing. Their research findings include the following:

- Green practices are no longer optional for companies and cannot be ignored. A green company is not necessarily a lean company, as lean thinking is focused on manufacturing efficiency. Additionally, by introducing green practices into a lean operating environment, companies will often have to make trade-offs between multiple objectives that are not perfectly compatible.
- Lean manufacturers, however, are often greener than non-lean companies. Green manufacturing is a natural extension to lean manufacturing, although many lean practices are green without the explicit intention of being green.
- Lean manufacturing can serve as a catalyst to facilitate the implementation of environmental improvements. Lean thinking processes are beneficial to green practices, and the implementation of green practices has a positive influence on existing business practices.
- The integration of lean and green practices benefits companies. The hesitation toward green practices is fuelled by the fact that there is confusion about green manufacturing, and there are very few independent models, regulations and best practices that support its implementation. Because green practices are not the focal point of many companies, the potential to maximize green gains with the implementation of a simple green framework is significant. Therefore, it is essential to integrate both strategies and implement these simultaneously to fully exploit the synergetic effect.

Following this, there are intrinsic linkages between lean and green – not least due to the relentless focus of lean on waste elimination. Over the past two decades the lean community has focused on operational improvements to build a continuous improvement. In the lean model, work is based on the principles of continuous improvement, or “Kaizen.” Workers are responsible for identifying quality problems found on the production line and, in contrast to mass production, are able to stop the line for such problems. Floor workers are arranged in teams, with a team leader performing a coordinating role in addition to assembly tasks (ROTHENBERG, 2001). A benefit of pollution prevention activities is that they

are often “value added” for the firm since they reduce costs through material use reduction or through the avoidance of waste management costs (FLORIDA, 1996; FOUND, 2009).

The next challenge for the lean community is to consciously account for the environmental issues. Gordon (2001) discusses some ways for integrating Lean and Green practices with focus on cost reduction practices. Hawken et al. (1999), in the fundamental text, *Natural Capitalism*, discuss the importance of not only developing a more sustainable society, but also of how different existing practices can be applied for supporting an environmental oriented business.

Gavronski et al. (2012) highlight the effect that that a plant-level social climate has on fostering a greater emphasis on pollution prevention. Managers, in order to promote pollution prevention should promote both social climate and knowledge exchange in the plant. Managers should also support environmental management systems, not as bureaucratic process of documentation and regulatory compliance, but also as a source of process improvement and innovation. The fundamental building block of lean thinking is continuous improvement, *Kaizen*, with its focus on problem solving and employee involvement which fits perfectly with the notion of creating a greener industry. Therefore, the pursuit of continuous improvement, i.e. *Kaizen*, created substantial opportunities for pollution prevention and waste and emissions reduction.

3.5 LITERATURE ANALYSIS MAIN INPUTS

Chapter 3 presented the analysis of gaps and interactions of the individual blocks of literature that compose this work to establish the basis for the L&GBM. This analysis was divided in four main blocks with the objective of testing eight main hypotheses:

- **Analysis of lean and a green taking an operations perspective:**

(1) Lean practices require a higher level of integration with manufacturing integration than green practices.

(2) Green practices should consider a higher level of integration with manufacturing ways in order to achieve better results.

- **Analysis of lean and green taking a sustainability perspective**

(3) Most sustainability/green practices do not fully contribute to the three core sustainability dimensions.

(4) Pure lean thinking contributes to two sustainability dimensions – (1) profit and (2) people.

- **Analysis of green taking a lean perspective**

(5) Although they can support business improvement and strategy (such as reducing costs), environmental practices are often stated to be environmental protection initiatives.

(6) There are several examples proofing the synergy between lean and green practices but none has proposed a different way of thinking.

- **Analysis of lean taking a green perspective**

(7) The application of pure lean promotes environmental improvement even though there is no direct intention to reduce environmental impact.

(8) A new way of thinking can be created by integrating to the pure lean thinking one new dimension – (3) the planet.

After the analysis presented along Chapter 3, it is possible to highlight the fundamental ideas identified along the literature analysis, which are presented in **Figure 12**.

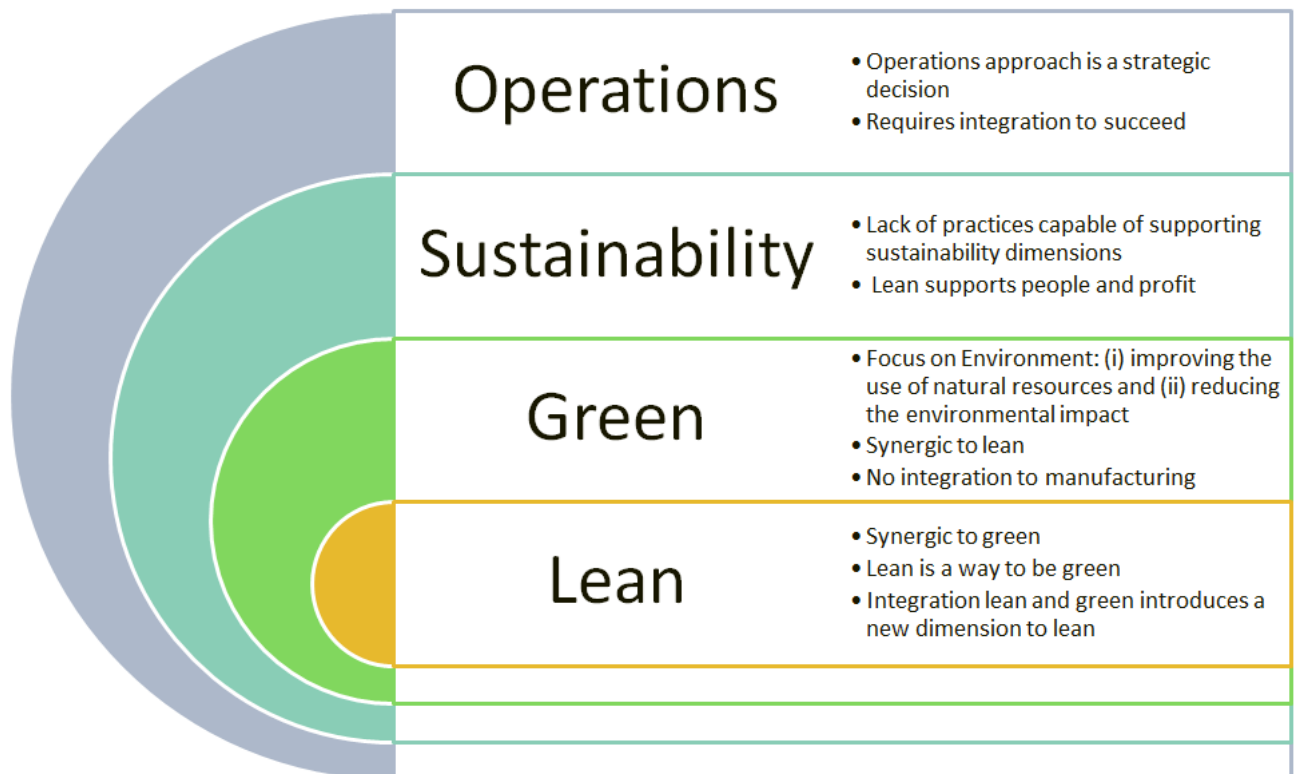


Figure 52: Fundamental ideas identified along the literature analysis

Source: Developed by the author.

Following these conclusions, the inputs and analysis will be the basis for proposing a new model, called the Lean Business & Green Model (L&GBM), whereby environmental sustainability is integrated into the pure lean thinking concept. The model adopts a Kaizen approach to address and improve mass and energy flows in a manufacturing environment that already possesses a sufficient deployment level in applying lean manufacturing.

The model was designed to be applicable at the cell and value stream levels through a cross-functional Kaizen team event that ensures that all team members are fully involved and have the opportunity to contribute with their ideas.

CHAPTER 4: RESEARCH METHOD

This chapter is dedicated to explaining the methodology applied for developing this research, the timeline of the research and the description of the seminars developed with specialists and academia for evaluating the developed L&GBM. The contents of this chapter will be presented as following:

- 4.1 Research design, explanation of the research method, research timeline and development process;
- 4.2 Pilot company description;
- 4.3 Description of the seminar developed with global specialists;
- 4.4 General inputs from the academia for the L&GBM.

4.1 RESEARCH DESIGN AND TIMELINE

The analysis and definitions for designing the research structure were based on the studies presented by Gil (2009), Bryman and Bell (2007) and Kumar (2005). In general terms, the basic research structure developed for application of L&GBM in production processes can be described as applied exploratory action research with mixed data basis. **Table 11** presents the basic structure related to research methodology applied for the development of this research and the L&GBM.

Table 48: Research design applied for the development of the L&GBM

Criteria	Classification	Details of the classification
Research Objective	Applied	Applied studies are studies that have as objective the acquisition of knowledge to be applied in one specific situation. In this specific case, the main objective is adapting manufacturing philosophy and ways of working, such as lean thinking, for supporting the development of environmental sustainable business by reducing environmental impact and increasing the productive in the use of resources.
Type of Study	Exploratory	<p>Exploratory research has as main objective to facilitate the understanding of the research problem by creating a hypothesis. Therefore this type of research has as main objectives to clarify, develop or change concepts and ideas. In the case of this research, the main hypotheses are:</p> <p>(1) lean manufacturing practices can be adapted and used as a strategy to achieve business environmental sustainability;</p> <p>(2) the fundamental building blocks from the other environmental sustainable practices can be integrated to the lean manufacturing concepts in order to support business strategies to achieve sustainability;</p> <p>(3) An integrated lean and green approach is different from pure lean and green practices alone;</p> <p>(4) lean and sustainability concepts can be integrated and put into practice in a manufacturing environment;</p>
Research Method	Mixed Methods Research	<p>Mixed Methods Research involves collecting, analyzing and mixing both quantitative and qualitative data in a single study or a series of studies. In this case both quantitative and qualitative approaches are considered in combination providing a better understanding of research problems than either method alone. In this type study, quantitative and qualitative inputs are both important.</p> <p>For this research, its qualitative side will consider the perception of the researcher related to the research main objective, such as deployments and impacts of the application of the L&GBM, understanding the model nature differences, which corresponds to a deeper understanding of the phenomena, ideas, processes and interrelations. From the quantitative side, this study considers the analysis of quantitative data of environmental waste reduction. The findings and delivered results of the L&GBM model are also analyzed quantitatively.</p>
Research Design	Action Research	<p>This is a type of research that has an empiric basis and that is developed in association to one specific action or the resolution of a common problem, where all researchers and participants are involved (cooperatively).</p> <p>In the case of the development of the L&GBM, the researchers are acting, involved and participating in all steps of the research development.</p>

Action research or participatory action research is a reflective process of progressive problem solving led by individuals working with others in teams or as part of a "community of practice" to improve the way they address issues and solve problems. Action research involves the process of actively participating in an organization change situation whilst conducting research. Action research can also be undertaken by larger organizations or institutions, assisted or guided by professional researchers, with the aim of improving their strategies, practices, and knowledge of the environments within which they practice. As designers and stakeholders, researchers work with others to propose a new course of action to help their community improve its work practices. According to Gil (2009), an action research type of study is developed in seven steps: (1) exploratory phase, (2) understanding the problem, (3) defining the hypothesis (4) seminar, (5) project scope, (6) data collection and (7) analysis of results. **Figure 13** presents the basic framework for the research structure.

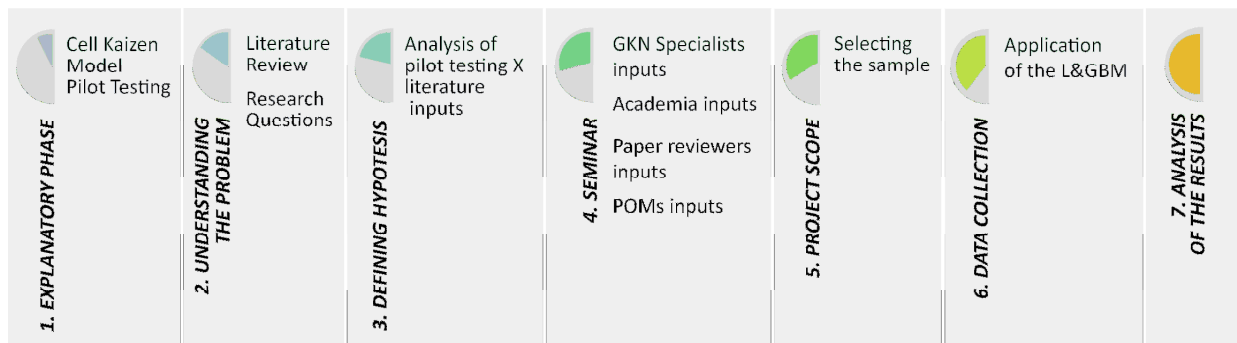


Figure 53: Research structure applied for the development of the L&GBM
Source: Developed by the author.

The main activities developed in each of these phases of the research development and the timeline related to them is presented in **Table 12**.

Table 49: Activities developed in each phases of the research development and timeline

Research Phase	Objective of the research phase	Main developments	Timeline
1. Exploratory phase	Identify the research field and focus, expectations and mutual support required for the research development	<ol style="list-style-type: none"> 1. Understanding the overall idea regarding Lean and Green concept based on studies of the EPA Lean and Environment Toolkit (EPA, 2006); 2. Pre-design of the L&GBM for a cell; 3. L&GBM pilot testing development at Monobloc Cell A. 	Mar/2008 to Dec/2008
2. Understanding the problem	Confirm research problem	<ol style="list-style-type: none"> 1. Review of L&GBM application at Monobloc Cell A (successes and failures); 2. Literature review phase I with focus in lean, and the and Lean and Green integrated concept; 3. PhD project proposal submission. 	Jan/2009 To Ago/2009
3. Defining the hypothesis	Define the hypothesis that will be tested along the research	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beginning of the PhD officially; 2. Discussion of main ideas of the first version of L&GBM for a Cell with the industry and the academia (with UFRGS and Cardiff professors); 3. Literature phase II with focus on sustainability, systems thinking, manufacturing practices, operations management and environmental/green sustainable practices; 4. Review of the L&GBM for a cell; 5. Second pilot testing of the L&GBM for a Cell at Assembly Cell 20; 6. Definition of project hypothesis – part I: <ol style="list-style-type: none"> (1) lean manufacturing practices can be adapted and used as a strategy to achieve business environmental sustainability; (2) the fundamental building blocks from the other environmental sustainable practices can be integrated to the lean manufacturing concepts in order to support business strategies to achieve sustainability; (3) Lean and sustainability concepts can be integrated and put into practice in a manufacturing environment. 	Ago/2009 to Jul/2010

(Continues)

(Conclusion)			
Research Phase	Objective of the research phase	Main developments	Timeline
4. Seminar	Discussion with academia and industry the main inputs and fundamental building blocks of the research	<ol style="list-style-type: none"> 1. L&GBM results discussion with global EHS specialists of the corporation where the model was tested (Mar & Oct/12). 2. General inputs from academia for the L&GBM: <ol style="list-style-type: none"> (1) POMS (Production and Operations Management Society) after presenting the pilot testing at POMS 21st Annual Conference, 2011, Reno, U.S.A, (2) Environmental specialists after presenting the pilot testing at the IV International Cleaner Production Seminar, 2011, POA, Brazil – The paper presented was awarded as best paper. (3) Lean specialists after presenting the pilot testing at LERC Annual Conference 2011. Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK, 2011. 	Mar/2010 To Jul/2011
5. Project scope	Based on the inputs from the specialists, define the project scope, sample and structure	<ol style="list-style-type: none"> 1. Design of the L&GBM for cells, sisters cells and value stream; 2. Definition of pre-requisites for the model application based on the (1) pilot testing (2) inputs from academia (3) literature review; 3. Definition of project hypothesis – part II - Review of research hypothesis based on the specialist inputs. Inclusion of a new hypothesis: (4) An integrated lean and green approach is different than pure lean and green practices alone; 	Nov/2010 To Jul/2011
6. Data collection	Application of the designed model	<ol style="list-style-type: none"> 1. Application of L&GBM for a cell in 7 cells in major manufacturing automotive company in Brazil; 2. Application of the Lean and Green Model for sisters cells in 10 sisters cells in major manufacturing automotive company in Brazil; 3. Application of L&GBM for a value stream in 1 manufacturing business in major manufacturing automotive company in Brazil; 4. Pilot testing of L&GBM for a cell in other manufacturing processes – 3 pilot tests developed – 1 in UK and 2 in USA. 	Feb/2011 To Nov/2011
7. Analysis of results	Analysis of the study and the research	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analysis of the model application results for cells, sisters cells and value stream in major manufacturing automotive company in Brazil; 2. Identification of improvement cycles developed along the research, highlighting findings and improvement opportunities in each one of them; 3. Analysis of the model application results for cells in other manufacturing processes. 	Dec/2011 to Dec/2012

The analysis of the key findings and improvement opportunities related to the application of the L&GBM were developed in five different moments. Each of these moments were called as improvement cycles. The objectives of developing these improvement cycles are:

- Analysis of kaizen results in terms of (1) reduction of environmental impact, (2) increase the productivity in the use of resources;
- Analysis of action plan results in terms of cost reduction;
- Confirm model prerequisites;
- Identify other key findings;
- Identify model improvement opportunities;

Two methods were applied for developing these analyses: (1) Brainstorm sessions with participants and specialists and (2) A3 analysis. Brainstorming is a group creativity technique by which a group tries to find a solution to a specific problem by gathering a list of ideas spontaneously contributed by its members. Brainstorming was developed and coined by Osborn (1963) through the book *Applied Imagination*. A3 is a structured problem-solving approach developed by Toyota for training of engineers, supervisors and managers. The term "A3" derives from the paper size used for the report, which is the metric equivalent to 11" x 17" paper. Toyota actually uses several styles of A3 reports: for solving problems, for reporting project status, and for proposing policy changes. The A3 process helps people engage in collaborative, in-depth problem-solving. It drives problem-solvers to addressing the root causes of problems which surface in day-to-day work routines (HINO, 2009).

Following these descriptions, **Table 13** below presents the general descriptions of the five improvement cycles that are being developed for analyzing the L&GBM in terms of (1) period of analysis, (2) L&GBM focus, (3) number of applications developed in the period and (4) method used for L&GBM application analysis.

Table 50: General description of the five improvement cycles developed for analyzing the L&GBM

L&GBM Analysis Timeline of findings and improvement opportunities	PERIOD OF ANALYSIS	LEAN AND GREEN MODEL FOCUS	NUMBER OF APPLICATIONS DEVELOPED IN THE PERIOD	METHODS USED FOR LEAN AND GREEN MODEL REVIEW
IMPROVEMENT CYCLE 1 Analysis of the application and results of the L&GBM for a cell pilot testing	From Jan/09 to Dec/10	1st level of flow - CELL	2 Nov/08 - Monobloc A Jun/10 – Assembly 20	Brainstorm and results analysis sessions with several teams: a. Environmental Team b. Kaizen Teams c. Manufacturing Team d. Site Directors Team
IMPROVEMENT CYCLE 2 Analysis of the application and results of the L&GBM for a cell roll out	From Jan/11 to Dec/12	1st level of flow - CELL	7 Feb/11 - Shaft A Mar/11 - Tripod A Jul/11 - FJ C Jul/11 - PF B Jul/11 - Cage A Ago/11- PF A Ago/11 - AIR A	1. Brainstorm sessions with several teams: a. Environmental Team b. Site directors Team c. Global Lean specialists 2. A3 analysis related to the Kaizens developed in 2011 with directors involvement
IMPROVEMENT CYCLE 3 Analysis of the application and results of the L&GBM for sister cells	From Sep/11 to Dec/12	1st level of flow Model for Sisters CELLS	3 Ago/11 - Tripod B-C Sep/11 - AIR B,C,D, E Nov/11 - AIR F, G, H, I	1. Brainstorm sessions being developed by Environmental Team
IMPROVEMENT CYCLE 4 Analysis of the application and results of the L&GBM for a value stream	From Nov/11 to Dec/12	2nd level flow - FACTORY	2 Nov/11 – GKN POA + GKN CHQ Nov/12 – GKN POA + GKN CHQ	1. Brainstorm sessions with several teams: Environmental Team Kaizen Team Management Team Site Directors Team Global Lean specialists
IMPROVEMENT CYCLE 5 Analysis of the application and results of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments	From Oct/10 to Dec/12	1st level of flow - CELL Model for a CELL	3 Oct/10 - GKN Aerospace, UK May/11 - Land Systems, USA May/11 - GKN Sinter Metals, USA	1. A3 analysis developed by Environmental Team and Global Lean Team

4.2 DESCRIPTION OF THE BUSINESS WHERE L&GBM WAS TESTED

GKN was founded in 1759, in South Wales, United Kingdom. It was one of the first companies to bring the modern industrial age to life. Today, with more than 250 years, this global British engineering company produces special systems and structures, with focus on automotive, powder metallurgy, aerospace and land systems markets. With operations in more than 30 countries, more than 140 manufacturing businesses and more than 40.000 employees around the world, with the intent of becoming “the best engineering company in the world”, over the past decade GKN also established solid foundations and policies in both lean and environmental fields. Therefore, since GKN has a variety of different types of businesses, producing and engineering different products and components, and also globally it presents a good deployment structure for lean and environment, it will be the global enterprise where the L&GBM will be tested for different types of businesses. These tests will be focused only on the L&GBM model for a cell and will be discussed in chapter 6. Also, GKN Global Lean and EHS specialists participated in the seminar to evaluate and review the L&GBM. The main inputs for this seminar will be presented in the following section.

Also, as discussed previously, the L&GBM will be partially applied in a global manufacturing enterprise, discussing the required changes, barriers and benefits for deploying it considering the different types of manufacturing processes. The manufacturing enterprise where the L&GBM is being tested globally is GKN Corporation.

The manufacturing business where the L&GBM was fully tested is GKN Driveline Operations in Brazil. According to what was described in the research objectives in chapter 1, the idea is to use GKN Driveline Brazil as the pilot manufacturing unit, testing the model in three different circumstances: (1) L&GBM for the cell, (2) L&GBM for sisters cells, (3) L&GBM for a value stream.

GKN Driveline Brazil is a 66-years-old manufacturing business, part of GKN Group of companies, located in Rio Grande do Sul, the southernmost state in Brazil. With two operational sites, one in Porto Alegre, with focus on machining and assembly, and another in Charqueadas, with focus on precision forming and machining, the business provides half-shafts for more than 80% of the automotive business in South America.

GKN Driveline Brazil is certified by ISO 14001 (Standard for Environmental Management System) since 2000. The business possesses about 2000 employees and in the

last decade established very solid foundations in both lean and environmental fields, enhancing its environmental performance. Along this period, several environmental improvement projects and activities were developed, resulting in a significant improvement in its key environmental performance indicators. **Table 14** presents a brief overview of this.

Table 51: GKN Driveline Brazil environmental overview - Some results and environmental performance

GKN Driveline Brazil - Environmental Performance	
2012 results compared to 2000 results	
Energy Improvement Rate (%):	48%
Water Improvement Rate (%):	78%
Wastes Improvement Rate (%):	53%
Recycling Rates (%):	99%
Environmental Management Performance	
Number of years ISO 14001 certification:	11 years - 4 CI cycles Since 2000
Number of environmental projects (R&D/technical/CI):	Total of 96 24 projects/ ISO 14001 cycle

Figure 14 presents the environmental performance for the main GKN Driveline Brazil indicators (energy, water and waste by ton of production and % of wastes that are sent to recycling).

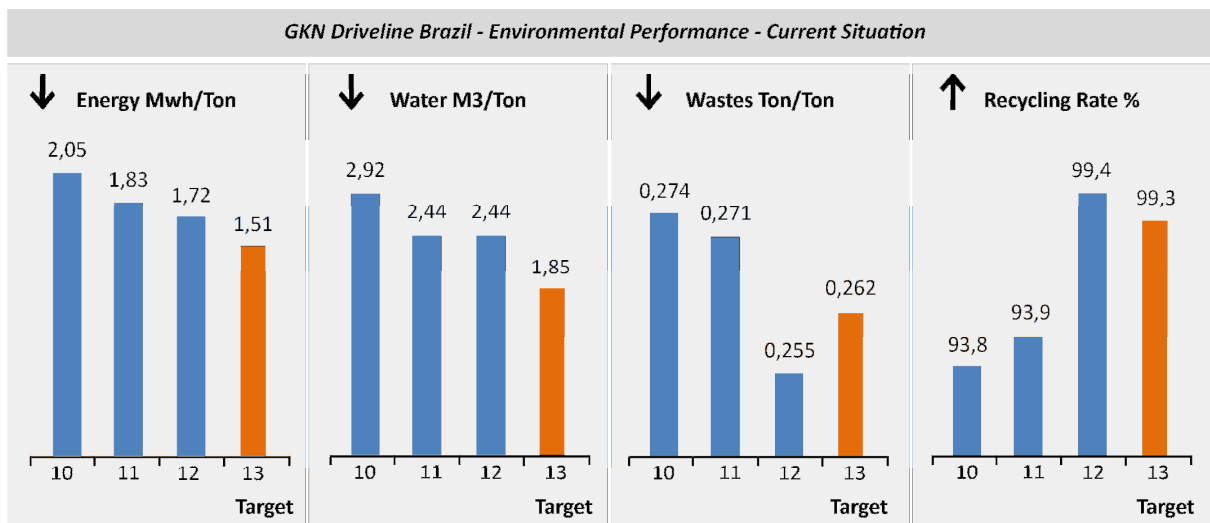


Figure 54: GKN Driveline Brazil Environmental Performance along 2010, 2011 and 2012 and 2013 target
Source: Developed by the author.

GKN Driveline Brazil is a key unit for the GKN business worldwide. It is one of the biggest sites of GKN in terms of land size and number of employees. It is also a major player for the driveline business in South America, applying not only worldwide best-in-class-technology for automotive transmissions but also with an important market position with over 80% of market share (GKN worldwide has around 40% for driveline market share).

GKN Driveline Brazil started its environmental journey as a true EMS (environmental management system) in 2000, with the ISO 14001 certification. Since then, the company's environmental performance has been significantly improved, a team of environmental experts was consolidated in the company and more than 90 research projects were developed with environmental focus.

GKN Driveline Brazil lean journey was started in 2004. Since then, all employees, in all levels (from top executives to operators) have been trained and involved in lean and improvement activities, in both shop floor and office areas. Today, lean tools, strategies and thinking are the heart of GKN Driveline Brazil culture. More than 500 kaizens were developed so far, the use of daily meetings, PVD's (primary visual displays), enablers (5S's, Visual Management, Standardized Work, etc) is part of everyone's day by day in the organization. A3 is the method for analysis of problems and deploying business strategy.

Therefore, from environmental and lean perspectives, GKN Driveline Brazil is considered a center of excellence for both fields, globally awarded more than 20 times in the last decade as reference for its operational and sustainable performance. With good environmental performance, with more than 99% of wastes being recycled, ISO 14001 certification since 2000, development of several technical environmental projects and also a good deployment level in lean, presenting an average deployment to advanced level in the application of GKN lean enablers for its business, GKN Driveline Brazil was ready for a next step in its continuous improvement journey, proofing the case to be a pilot unit for the application and testing of the L&GBM. Chapter 6 will discuss the implementation process and present some results of the L&GBM application in GKN Driveline Brazil.

4.3 SEMINAR DESCRIPTION

The L&GBM was submitted to GKN global environmental specialists for their evaluation. GKN global environmental specialists is a closed group of 30 global environmental executives with recognized environmental expertise from all GKN divisions (Driveline, Aerospace, Land Systems and Power Metallurgy) and from all GKN global regions (Americas, Europe and Asia-Pacific).

The analysis of L&GBM developed by GKN global environmental specialists was discussed at two global GKN environmental specialists' meetings in 2010, the first one in March 2010, in Monitor, USA and the second one in October 2010, in Lohmar, Germany. The main objectives of the seminars were (1) identify with the specialists the perceived benefits of implementing a Lean and Green initiative within GKN and (2) identify the main barriers for the deploying of this concept.

In the first meeting, in order to provide the specialist with some background about the theme, a brief overview (based on literature) of the main ideas regarding the Lean and Green concept was presented. The brainstorm activity that followed was developed to capture the main ideas raised by the participants. Brainstorming is a group creativity technique by which a group tries to find a solution to a specific problem by gathering a list of ideas spontaneously contributed by its members. For developing this analysis, each member received 6 post-its, 3 for describing the perceived benefits of Lean and Green and more 3 for describing the main barriers. After the individual brainstorming, these post-its formed a matrix representing the specialists' ideas for Lean and Green deployment in GKN. The ideas were grouped following the sustainability vectors, as (1) inputs for the planet, (2) inputs for people and inputs for profit.

In the second meeting, preliminary results of the L&GBM for a cell developed in Monobloc A and Assembly Cell 20 (which are presented fully in chapter 6) as well as results of the brainstorm activity were presented. The objective of the second meeting was to review with specialists the results of brainstorm and to confirm with all of them whether they agreed with the final results. The results will be presented in Chapter 6.

4.4 GENERAL INPUTS FROM THE ACADEMIA FOR THE L&GBM

In the same way that GKN global environmental specialist reviewed and analyzed the L&GBM, in order to identify benefits and barriers for the model implementation, a similar process was developed with the academia. This process of submitting the project and the L&GBM for an academic review was developed several times along the 3 years of development of the PhD project. Highlighted in this session are 3 key moments of academic review which took place right after the consolidation of the pilot testing and that were fundamental for the design of the L&GBM. These moments were:

- (1) Inputs from POMS (Production and Operations Management Society) after presenting the pilot testing and model at POMS 21st Annual Conference, 2011, Reno, U.S.A. The academia here was represented by lean experts, professors and audience that discuss the paper that was being presented in a conference session (PAMPANELLI et al., 2011a);
- (2) Inputs from environmental specialists after presenting the pilot testing at the IV International Cleaner Production Seminar, 2011, POA, Brazil; The academia here was represented by environmental experts and professors that evaluated the poster presented in the conference (PAMPANELLI et al., 2011b);
- (3) Inputs from Lean specialists after presenting the pilot testing and model at LERC Annual Conference 2011, Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK, 2011, including the feedback of Professor Robert Hall (Doc Hal), author of the book Compression (HALL, 2010) on the L&GBM. The academia here was represented by lean experts, professors and audience that discuss the paper that was being presented in a conference session (PAMPANELLI, 2011a; PAMPANELLI, 2011b);

The results of the academia analysis regarding L&GBM and its application will be presented in Chapter 7.

CHAPTER 5: LEAN & GREEN BUSINESS MODEL

As discussed previously, in science, systems thinkers consider that a system is a set of interrelated parts which function as a whole to achieve a common purpose, a dynamic and complex whole, interacting as a structured functional unit. Therefore, subsystems are interdependent, meaning that a change in one part affects other parts and the whole, and synergic, the whole is greater than the sum of its parts. The individual bodies of literature are subsystems that compose the L&GBM, which are interrelated, interdependent and synergic. Its individual understanding is the basis to compose the L&GBM, the structured functional unit of this research.

Therefore, chapter 2 explored the main characteristics, dimensions, fundamental building blocks and main tools of the four main bodies of literature that compose this study, (1) operations management, (2) lean thinking, (3) sustainability and (4) green thinking. This understanding is key for building and creating a new model. Chapter 3 proposed an analysis of gaps and interactions of the individual blocks of literature that compose this work to establish the basis for the L&GBM, including (1) analysis of lean and green taking an operations perspective, (2) analysis of lean and green taking a sustainability perspective, (3) analysis of green taking a lean perspective and (4) analysis of lean taking a green perspective. The literature analysis highlights the following ten conclusions, which are fundamentally important for design of the L&GBM:

1. Being lean or green is a company strategic decision.
2. Taking lean manufacturing approach requires higher level of integration with manufacturing processes than green manufacturing. Green practices that want to succeed in terms of improving manufacturing should consider a higher level of integration with manufacturing ways of working and variables.
3. There is no environmental practice that considers a certain level of manufacturing stability, integration or lean deployment, as a prerequisite prior to be implemented.
4. Overall, green practices have basically two main objectives (1) improving the use of natural resources and (2) reducing the environmental impact.
5. Most green/sustainability practices do not fully contribute to the three sustainability dimensions. Pure lean contributes to two sustainability dimensions (1) profit and (2) people.

6. Lean helps a company to become green, even if there is no direct intention to reduce environmental impact. A company's adoption of lean manufacturing can be the first stage in becoming green.
7. There are intrinsic linkages between lean and environmental practices. Studies proof synergy between lean fundamentals while applying green practices. Lean tools and fundamentals are successful when used for promoting environmental improvements.
8. The full integration of lean and green practices and fundamental objectives should benefit companies.
9. There are few practices or models (EPA, 2006) that identify and measure environmental aspects and impacts based on manufacturing value streams.
10. Integration lean and green may introduce a new dimension to the traditional lean thinking model.

Chapter 4 introduces the research method used for developing the L&GBM. As described previously, the research design for this project is classified as action research.

This chapter is dedicated to explaining the design and fundamental characteristics of the Lean & Green Business Model (L&GBM), a model that aims to translate the environmental language to the manufacturing world, applying lean thinking to solve environmental problems. Therefore, in order to understand the purpose, the principles and the ways of working of the L&GBM, and to explain why it is different from pure lean and pure green.

5.1 THE PURPOSE OF THE L&GBM

Although, according to Bicheno (2000), the general purpose of lean thinking can be described in four main dimensions (1) Safety, (2) Quality, (3) Delivery and (4) Cost, Lozano, 2008, in his article *Envisioning sustainability three-dimensionally*, reviews the concept of environmental sustainability established by several authors and states that the green thinking can be quoted as *"use of natural resources without going beyond the carrying capacities and the production of pollutants without passing the biodegradation limits of the receiving system"*. Therefore, the general purpose of environmental thinking can be described in one

dimension (Environment), with two main focuses: (1) Producing with the maximum productivity in the use of natural resources and with the (2) minimum environmental impact.

The idea of the L&GBM is using lean thinking to solve environmental problems, adding one more dimension to the traditional lean thinking, the Environment. In this context, the main objectives of the model are based on the fundamental building blocks of environmental sustainable practices: (1) Improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation) and (2) reducing manufacturing processes environmental impact, by reducing all environmental wastes generated by production. Following this, the general purpose model can be described as: *“Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at a fair price and with minimum waste and environmental impact by delivering the maximum productivity in the use of natural resources”*. It means that the lean and green thinking will be described in five dimensions, (1) Safety, (2) Quality, (3) Delivery, (4) Cost), (5) Environment, as described in **Figure 15**.

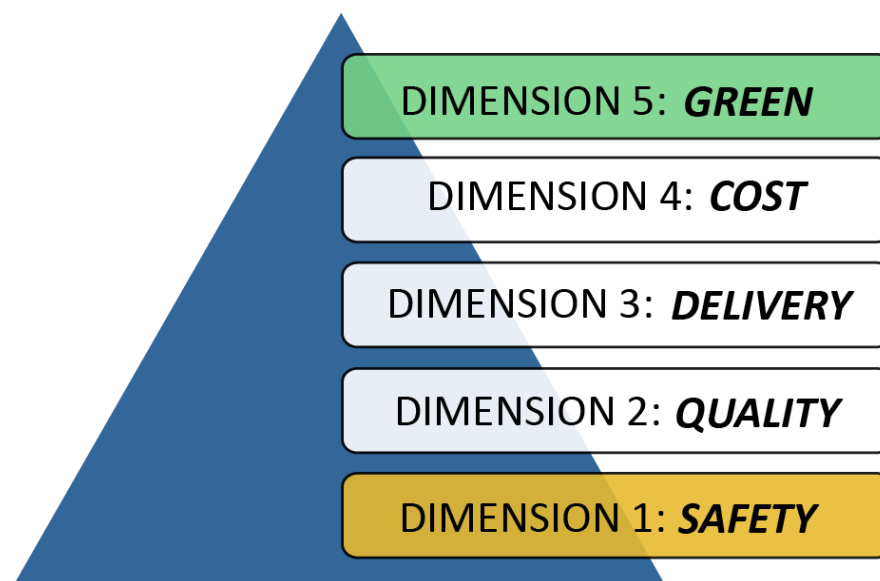


Figure 55: The five dimensions of the L&GBM
Source: Developed by the author.

Hajmohammad et al. (2013), in a study comparing lean and green practices, concluded that environmental practices are the main driver for reaching better environmental performance. Following this, it makes absolute sense that in order to be aligned to sustainability principles, L&GBM considers that lean thinking is adapted to cope with the fundamental building blocks of environmental sustainable practices: (1) Improving

manufacturing processes resources productivity and (2) reducing manufacturing processes environmental impact. Since L&GBM will be integrating the core characteristics of green and lean thinking, the new model will be able to support the three sustainability dimension (1) Profit, (2) People and (3) Planet.

Figure 16 presents the position of L&GBM comparing it to pure lean and pure green thinking, how it integrates the sustainability vectors in order drive to Compression that fundamentally begs for equity and for a new economic thinking.

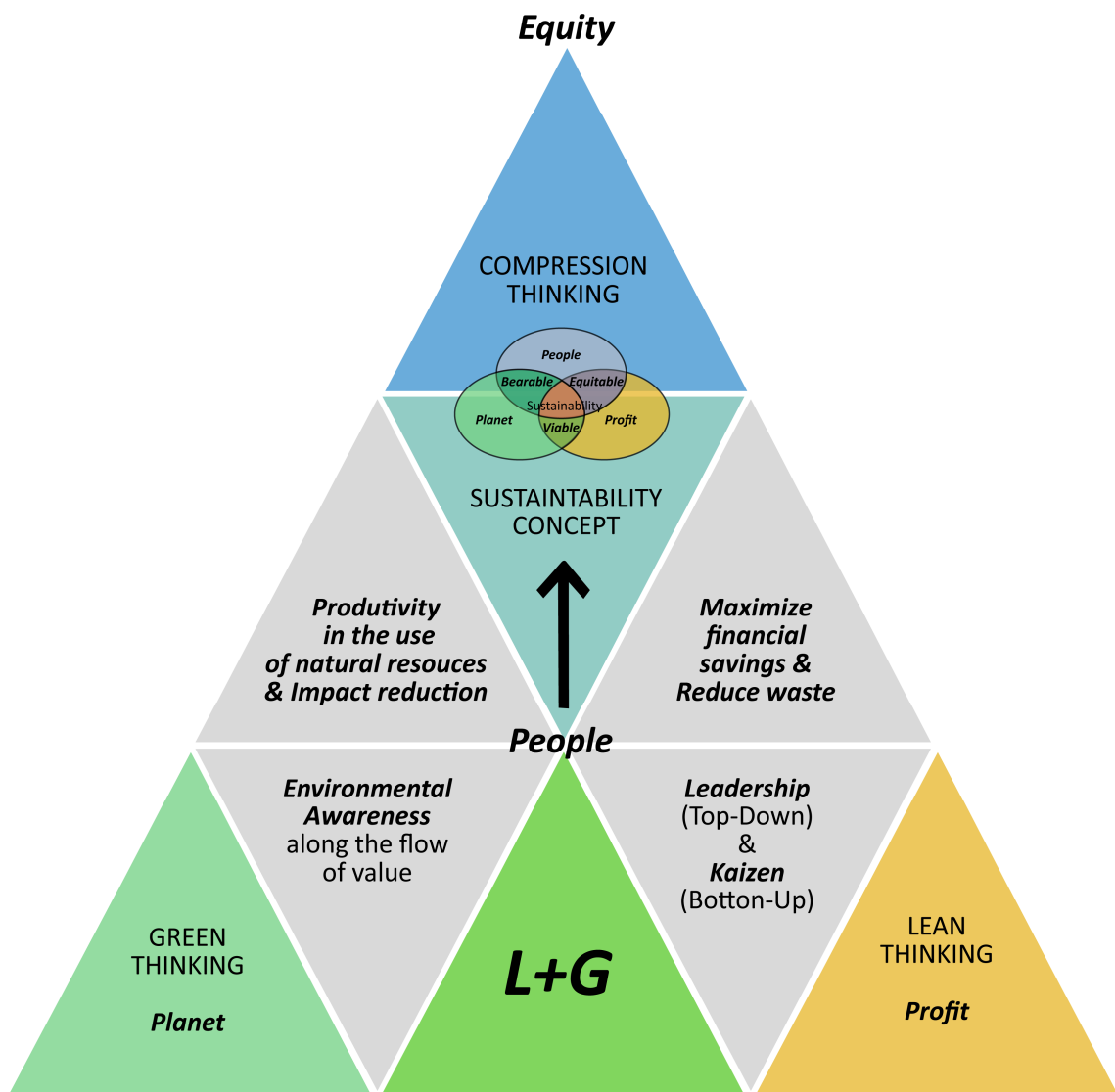


Figure 56: Positioning the L&GBM
Source: Developed by the author.

The L&GBM is a model that intends to motivate a conceptual transition, in a learning process that integrates different pieces of knowledge. Prior concepts, such as pure lean and green thinking, are the baggage. While integrating such concepts, L&GBM proposes to

create a new model where (1) productivity in the use of natural resources (2) impact reduction, (3) environmental awareness, (4) financial savings, (5) people involvement and (6) leadership, originally derived from different sources, are now connected as fundamental blocks of a new way of thinking. As times passes, L&GBM seeks not only the integration of the social, environmental and financial, but also equity, equitable value, importance, and priority for all its vectors, promoting connectedness within and outside the system.

5.2 THE PRINCIPLES OF THE L&GBM

In general terms, green thinking models, such as Industrial Ecology (NIELSEN, 2007; TIBBS, 1992), Industrial Symbiosis (BOONS et al., 2011) Eco-efficiency (KORHONE, 2007) Triple Bottom Line (LENZEN, 2008), Natural Capitalism (ROBÈRT, 2002a; HAWKEN et al., 1999), The Natural Step (ROBÈRT, 2002b), can be generalized by four common key principles:

- (1) Identify environmental aspects and impacts;
- (2) Measure environmental impact and the use of natural resources;
- (3) Identify alternatives to (1) impact reduction and (2) resources productivity;
- (4) Continuous Improvement;

Womack and Jones (1998) offer five key principles for defining and describing lean thinking:

- (1) Specific value: define value precisely from the perspective of the end customer in terms of the specific product with specific capabilities offered at a specific time;
- (2) Identify value streams: identify the entire value stream for each product or product family and eliminate waste;
- (3) Make value flow: make the remaining value creating steps flow;
- (4) Let the customer pull value: design and provide what the customer wants only when the customer wants it;
- (5) Pursue perfection: strive for perfection by continually removing successive layers of waste as they are uncovered.

To operationalize the lean thinking principles, the identification of value streams is key, to make value flow at the pull of the customer. In lean enterprises, manufacturing processes are organized in levels of flow (HOPP and SPERMANN, 2008), where:

- (1) The first level is the cell level, the lowest production level in a manufacturing company organized by lean principals, composed by a finite number of operations/machines, that include part of the total value stream oriented to produce one specific part of the final product requested by customer;
- (2) The second level is the factory level, value stream level, composed by several cells that are part of the same value stream; because value streams are oriented by customer product families, one factory may possess more than one value stream; value streams exist within the plant aligned to product / process families;
- (3) The third level is the extended value stream level, composed by several sites (external supplier through to customer) that are part of the same value stream.

Figure 17 brings a visual framework of the three levels of flow based on lean thinking ideas.

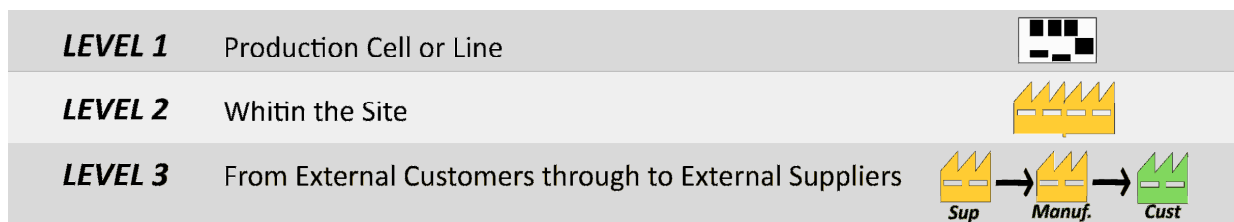


Figure 57: The manufacturing three level of flow based for lean thinking organizations
Source: Developed by the author.

The leadership, methodology and execution patterns, designed for improving value stream performance in an organization that applies lean thinking as a strategy for increasing manufacturing performance, are used in the L&GBM. The difference here is that, instead of focusing in the flow of product (that is the main goal of improving manufacturing performance), the focus here is optimizing the use of the value stream supporting flows performance (mass and energy flows). **Figure 18** presents the general idea of the mass and energy flow analysis applied by the L&GBM.

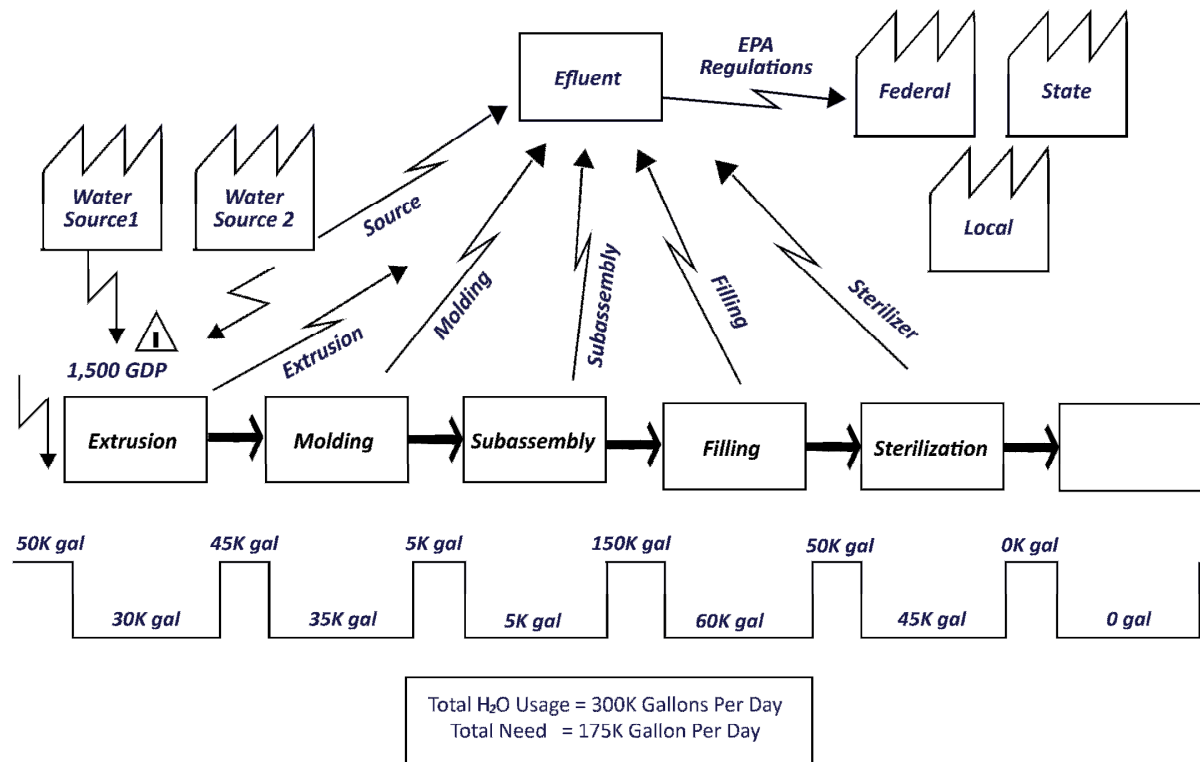


Figure 58: Example of the mass and energy flow analysis applied by the Lean and Green Model
Source: EPA, 2006

Following this, the L&GBM can be described by five key principles:

- **Identify a stable value stream (VS):** Identify a stable value stream (level 1, 2 or 3). A stable value stream is a value stream that copes with the main dimensions of lean thinking (1) Safety, (2) Quality, (3) Delivery and (4) Cost;
- **Identify the environmental impact (E):** Identify in the chosen value stream the environmental aspects and impacts;
- **Measure the environmental value streams (EVS):** Measure the value stream environmental impacts and the use of natural resources (the value stream supporting mass and energy flows);
- **Improve the environmental value streams (EVS):** Identify alternatives to (1) impact reduction and (2) resources productivity within the value stream;
- **Continuous Improvement (CI):** Set alternatives for improving the value stream supporting mass and energy flows;

Considering what was presented, **Figure 19** presents the overall idea of the L&GBM principles.

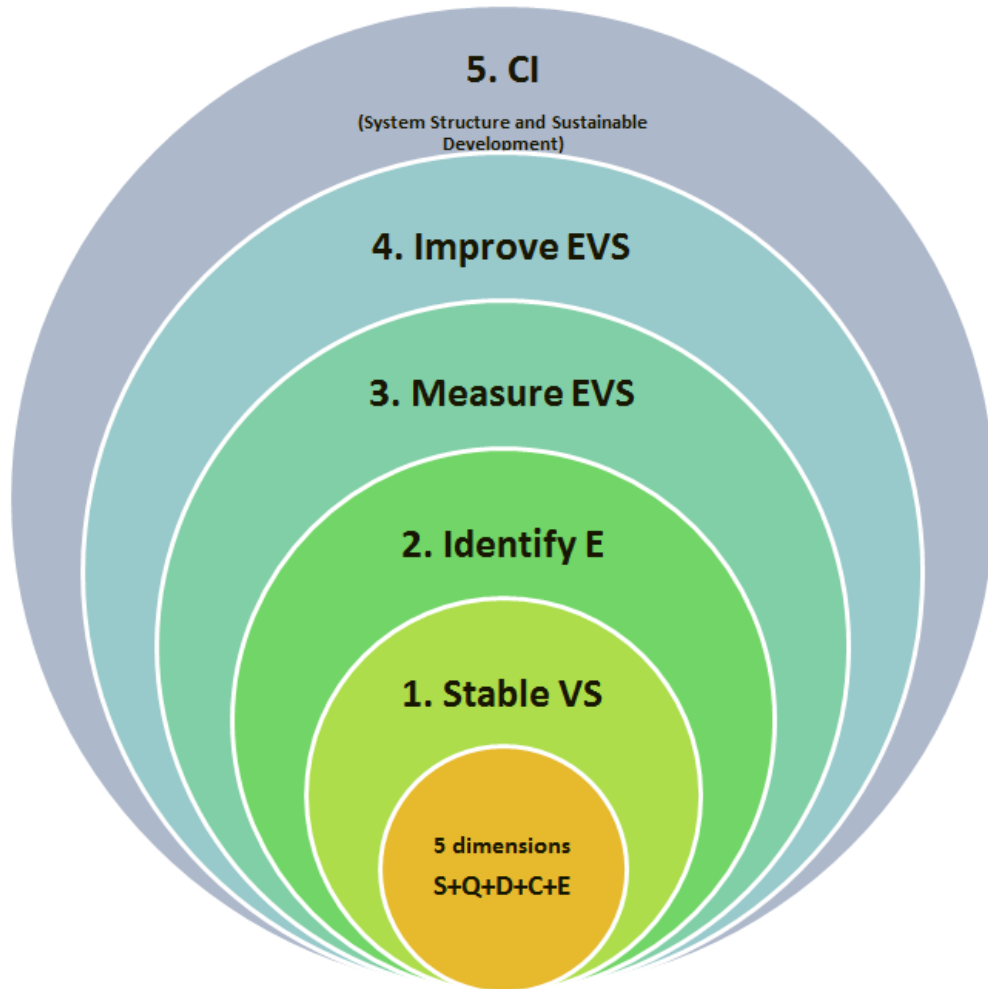


Figure 59: The principles of the L&GBM
Source: Developed by the author.

5.3 THE WAYS OF WORKING OF THE L&GBM

Since the idea of the L&GBM is using lean thinking philosophy to solve environmental problems, the main objectives of the model are based on the fundamental building blocks of green thinking practices. Following this, the two main objectives of L&GBM are: (1) improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation) and (2) reducing manufacturing processes environmental impact, by reducing all environmental wastes generated by production.

Therefore, the objects of study of the L&GBM are the mass-energy flows of the manufacturing processes and the expected output for model application is the achievement of improvements in these thermodynamic flows (Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy), contributing for improvement of the overall performance. There are many

potential cost savings associated with reducing the environmental impact of a business, for example, reducing the consumption of harmful chemicals and energy will impact directly on overheads, as well as reducing risk to the employees and the surrounding area.

In this sense, the basic and most important idea of the L&GBM is considering that lean and green approaches will be integrated as part of the continuous improvement process of a manufacturing process, where the lean philosophy and ways of working were already in place. Following this, the objects of study of the L&GBM are the mass-energy flows of the manufacturing processes and the expected output for model application is the achievement of improvements in these thermodynamic flows (Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy), contributing to improvement of the overall performance.

One fundamental building block of lean thinking is continuous improvement, Kaizen, with its focus on problem solving and employee involvement which fits perfectly with the notion of creating a greener industry. The L&GBM will be using the Kaizen approach for dealing and improving environmental flows of mass and energy of a manufacturing a cell and the value stream. The difference here is that instead of focusing on the flow of product (that is the main goal of improving manufacturing performance), here the focus is optimizing the use of the value stream supporting flows performance (mass and energy flows).

5.4 WHY THE L&GBM IS DIFFERENT FROM PURE LEAN AND GREEN THINKING?

Following the description of the L&GBM developed in sections 5.1, 5.2 and 5.3, **Table 15** highlights the fundamental differences of the L&GBM compared with pure green and pure lean thinking in terms of purpose, principles and ways of working of dealing of the sustainability vectors (People, Profit and Planet).

Table 52: Table comparing L&GBM with pure lean and pure green thinking

	GREEN Environmental Sustainability Thinking	LEAN Lean Thinking	L&GBM
General Purpose	“Use of natural resources without going beyond the carrying capacities and the production of pollutants without passing the biodegradation limits of the receiving system” (LOZANO, 2008)	“Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste” (BICHENO, 2000)	“Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste and environmental impact and the maximum productivity in the use of natural resources”
Main Principles	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identify environmental aspects and impacts 2. Measure environmental impact and the use of natural resources 3. Identify alternatives to (i) impact reduction and (ii) resources productivity 4. Continuous Improvement 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Specific value 2. Identify value streams 3. Make value flow 4. Let the customer pull value 5. Pursue perfection (WOMACK and JONES, 1998) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identify a stable value stream (level 1, 2 or 3); 2. Identify in the flow of value the environmental aspects and impacts 3. Measure VS environmental impacts and the use of natural resources 4. Identify alternatives to (1) impact reduction and (2) resources productivity in VS 5. Pursue perfection - Continuous Improvement
PEOPLE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Environmental Awareness in all levels of the organization 2. High level of technical competence for people responsible for environmental impacts 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leadership (Top-Down) 2. Kaizen (Bottom-Up) People involvement and creation of solving problems culture	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leadership (Top-Down) 2. Kaizen (Bottom-Up) 3. Environmental Awareness along the flow of value
PROFIT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Equity (Economic / Environmental) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximize financial savings (revenue) 2. Reduce waste 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximize financial savings (revenue) 2. Reduce waste (for all sources of wastes streams) 3. Equity (Economic / Environmental)
PLANET	<ol style="list-style-type: none"> 1. Productivity in the use of natural resources (mass and energy) 2. Environmental impact reduction (3R’s) 	None	<ol style="list-style-type: none"> 1. Productivity in the use of natural resources (mass and energy) 2. Environmental impact reduction (3R’s)

Considering what was presented in **Table 15**, L&GBM is different from pure green thinking due to:

- **L&GBM prioritizes the customer focus:** For being L&GBM it is necessary to be lean first; Therefore a prerequisite of deployment level in lean is key for Lean and Green;

- **L&GBM identifies and measures environmental aspects and impacts based on value streams:** Traditional green thinking does not focus on the manufacturing ways of working to do this;
- **L&GBM focuses on a top-down and bottom-up approach:** for deploying environmental continuous improvements;
- **L&GBM prioritizes maximizing value and reducing costs:** It has an environmental approach, prioritizing financial savings and waste reduction as well.

Considering what was presented in **Table 15**, L&GBM is different from pure lean thinking due to:

- **L&GBM introduces into the traditional lean thinking a new dimension - the environmental concern aspect:** Traditional lean thinking focuses on four dimensions: Safety, Quality, Delivery and Cost. L&GBM introduces the environmental concern, requiring (i) minimization of the use of resources and (ii) reduction of environmental impact (iii) the need of environmental awareness along the flow of value;
- **L&GBM focus in other sources of savings:** Traditional lean thinking considers only reduction of the seven classic wastes. With the introduction of the environmental variable concern along the flow of value, other sources of wastes may be focused and reduced, maximizing the overall savings.

In fact, the overall idea of the L&GBM encompasses the same principles of the lean thinking that are set in the house of lean, where the stability is the base. Kaizen is one of the main pillars with the ultimate goal of improving performance, that in this case is based in four dimension, (1) Safety, (2) Q-Quality, (3) D-Delivery and (4) C-Cost. The difference here is that one more dimension, (E) Environment will be added to existing model. **Figure 20** presents the idea.

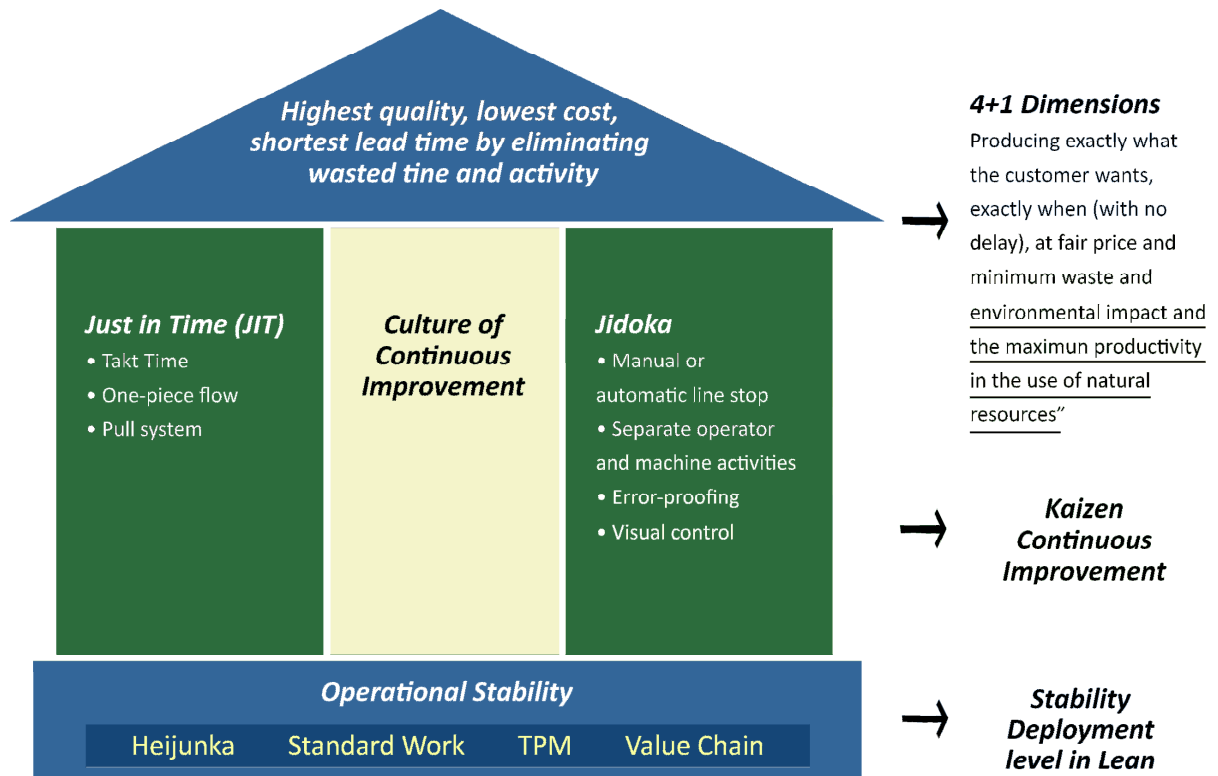


Figure 60: The house of lean and L&GBM

Source: Adapted from Rich et al., 2006 in Understanding the lean journey

In fact, Rich et al. (2006) discusses lean improvement stages from chaos to control to competitive advantage, setting the natural steps to be followed by a manufacturing process implementing lean principles over a period of time. By concentrating first on stabilizing processes, where basic discipline, safety and morale is addressed and followed by improvements in quality, delivery performance and process flexibility, costs are reduced naturally, creating opportunities for further cost reduction that are realized in the later stages:

Process stability (Safety+ Quality + Delivery + Flexibility) → Cost reduction

Perhaps, this logic does not take into consideration the other sources of cost that are part of the manufacturing process, the environmental wastes (materials and energy consumption and wastes generation) and that are not considered in the original Rich's model. Therefore, the L&GBM is built based on Rich's model, adding one extra variable to it:

Process stability (Safety + Quality + Delivery + Flexibility) + Environment → Cost reduction

5.5 L&GBM FOR A CELL

The cell is the lowest production level in a manufacturing company organized by lean principles, and it is composed of a finite number of operations or machines (HOPP and SPEARMAN, 2008). The main objective of developing the L&GBM at the cell level is to improve the performance of the supporting flows (i.e., materials and energy consumption and waste generation) and to reduce all waste and impacts (PAMPANELLI et al., 2011a). The objects of this study are the mass-energy flows of the cell, which are evaluated according to operation. The expected output is the degree of improvement in these flows. **Figure 21** depicts the study's framework.

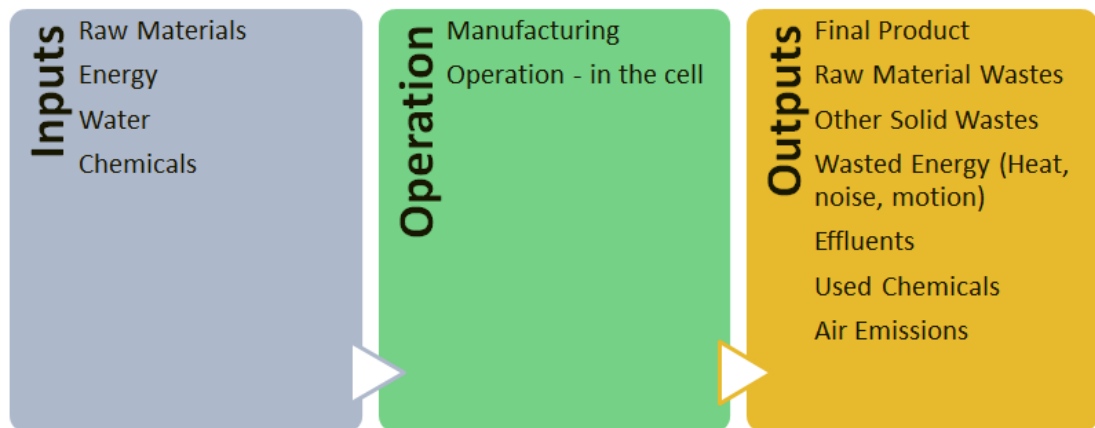


Figure 61: Mass and energy flow analysis using the Lean & Green Model at the cell level and evaluated according to operations
Source: Developed by the author.

The basic and most important idea behind the L&GBM is that lean and green approaches can be integrated as part of a continuous improvement process at a cell where lean manufacturing is already in place. Therefore, the main prerequisites for a cell to be a candidate for the L&GBM are as follows:

1. A stable process, with delivery records over 90%;
2. A mature deployment level in using and applying lean tools (i.e., operators already know and apply the most common lean tools such as 5S, Visual Management, Autonomous Maintenance and Lost Time Analysis);
3. Employee Involvement (EI) systems are in place (operators already know and apply the most common EI tools, such as Daily Meeting, Primary Visual Display, etc.);

4. A supportive management team (i.e., a cell manager as well as senior and middle management) is available to sponsor the Lean & Green initiative;
5. Good level of environmental awareness (i.e., operators have already been trained in understanding related environment issues and concerns);
6. Significant use of natural resources (i.e., materials, chemicals, water and energy);
7. Structure in place for environmental data collection.

Based on lean thinking, the L&GBM involves five steps, presented in **Figure 22**.

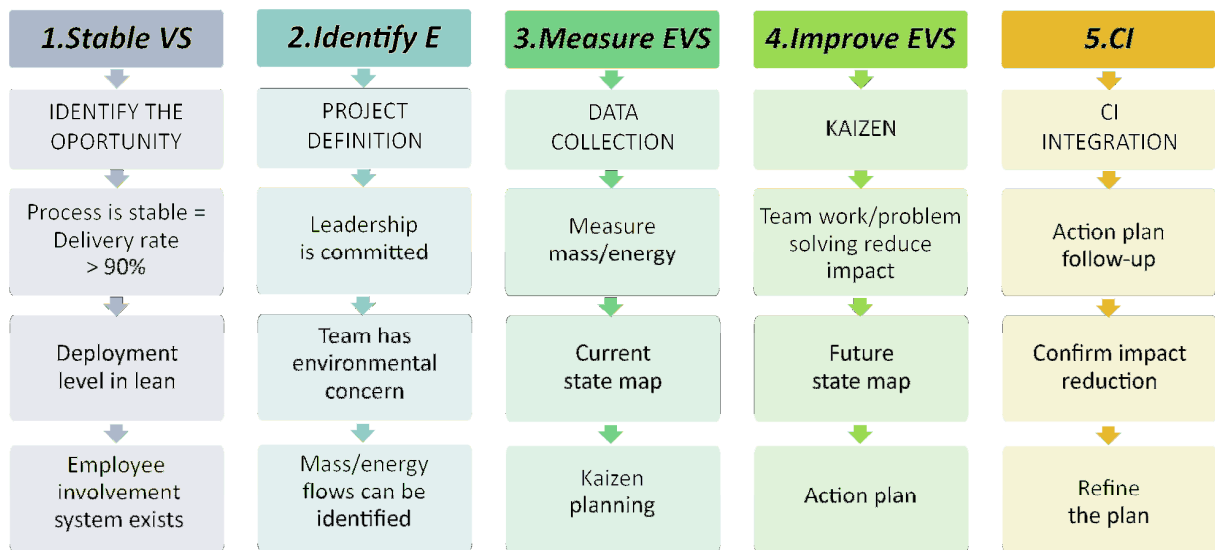


Figure 62: The five-step Lean & Green Model for improving the performance of supporting flows in a production cell

Source: Developed by the author.

The general objective of each step is described below:

- Step 1 – Stable value stream (VS): Identify the need for improvement. Identify an operational cell that represents a significant use of resources, has a good deployment of lean tools and has a stable production flow that justifies application of the Lean & Green Model.
- Step 2 - Identify environmental aspects and impacts (E): Define the process improvement scope by identifying the environmental aspects and impacts of the value stream (in this case, the cell). Aspect and impact definitions are considered according to ISO 14001:2004. An environmental aspect is a feature or characteristic of an activity, product or service that affects or can affect the environment, the cell

inputs or the cell outputs. An environmental impact is a change to the environment caused by environmental aspects resulting from cell inputs and outputs.

- Step 3 - Measure environmental value streams (EVS): Identify the actual data on the environmental process. Collect environmental data. Map the cell 'as-is' (that is, the current state of the process), and identify the cell's actual state for its main environmental flows. Measure the mass-energy flows for the cell. Organize the Kaizen event. The improvement metrics used for this Kaizen event are as follows:

- Energy: Use of meters for collecting all energy consumed in a specific period of time (i.e., month). Energy invoices are used to determine the cost.
- Water: Use of meters for collecting all water consumed in a specific period of time (i.e., month). Water invoices are used to determine the cost.
- Metallic and contaminated waste and other waste: This represents all types of waste produced by a cell in a specific period of time (i.e., month). Waste invoices are used to determine the cost.
- Oils and chemicals: A company material system (i.e., oracle, ERP system) is used to access all chemicals used by a cell in a specific period of time (i.e., month). Invoices are used to determine the cost.
- Effluents: Use of meters for collecting all effluent generated in a specific period of time (i.e., month). Invoices are used to determine the cost.

- Step 4 – Improve environmental value streams (EVS): Identify waste elimination opportunities during a Kaizen workshop. Prioritize the main production supporting flows for the team to analyze during the Kaizen event. Organize teamwork on the shop floor to identify the main waste elimination opportunities, analyze the main waste in each flow and identify the main improvements. Depending on the size of the cell, in terms of operations and machines, the Kaizen event may involve between 20 and 30 people, including all cell operators, leaders and managers, and maintenance people as well as environmental and lean specialists. **Figure 23** demonstrates the different groups of people that are involved in the kaizen initiative.

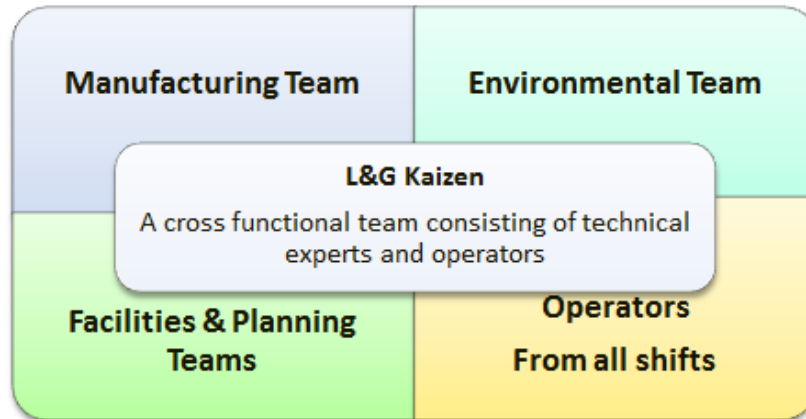


Figure 63: Groups of people that are involved in the kaizen initiative – For a cell
Source: Developed by the author.

The basic Kaizen structure under the L&GBM for a cell includes the following phases:

- Phase 1: Devote approximately two hours to introducing the cell and its actual state and the costs and the environmental impacts of the cell mass and energy flows and then organizing the cross-functional teams that will be responsible for each of the cell's supporting flows (i.e., energy, waste, water, chemicals, etc.);
- Phase 2: Devote approximately two hours to the teamwork shop floor exercise. The objective of each team is to understand the use or generation flow of the team's resource during each cell operation. The questions that the teams should answer include (1) Why is this manufacturing operation necessary in this process? (2) Why is this waste/consumption generated here? (3) What is the frequency at which it is generated? (4) Why is this frequency necessary? (5) Is this operation deployed in accordance with the work standard? (6) Is the standard correct? and (7) What can be done to eliminate or reduce this usage?
- Phase 3: Devote approximately two hours to consolidating a future state map for the cell's mass and energy flows and to developing an action plan for improvement opportunities. Some of the questions that should be answered here include (1) What was identified? (2) What are the improvement opportunities? (3) What are the expected changes? (4) What are the gains? And (5) What does the future state look like? After answering these questions and after building the new mass and energy map for the cell and a specific action plan for accomplishing these changes, the Kaizen results are presented to the site leadership (who must approve the plan) to develop appropriate

expectations. Finally, a 'to-be' map is developed that shows the future process by considering all the analyses developed during the Kaizen event.

- Step 5 – Continuous improvement (CI): Develop action and communication plans in the Kaizen workshop. The sustainability of the results achieved in the Kaizen should be evaluated through leadership standard work (LSW). The action plan is validated with the project team leader, and the Kaizen event action plan is consolidated. Connections between team members are established by applying the EI tools that are already in place. Capture the learning.

Integrating lean and green manufacturing is treated a second step in a cell's continuous improvement process. It is understood that a stable production flow is the first step toward achieving a lean and green enterprise. Once cell stability is reached and production efficiency is under control, then the team is ready for the next step; this explains why the L&GBM is designated for cells that already have stable production flow and have achieved a benchmark deployment level in applying lean thinking concepts. In addition, leadership is a fundamental building block for lean and green deployment. The kaizen initiative needs to be approved by cell manager, and it requires the complete commitment of team leaders and team members to deploy it properly.

5.6 L&GBM FOR SISTERS' CELLS

Sister cells are production cells that produce the same product, have the same characteristics, the same number of machines, the same type of machines, and the same number of operations. In high intense manufacturing sites, like automotive, this type of configuration is quite common. For example, it is possible to have in assembly site, 20 cells, all similar, all them assembling the same type of components and consequently using similar amounts of raw materials and energy and generating similar quantities of wastes.

The L&GBM for sisters cells is a simpler version of the L&GBM for cells. It was created as an improvement step of the L&GBM for a cell. Manufacturing organizations are always seeking for better results and improvements, adapting good ideas to maximize as much as possible the use of resources. The question raised after pilot testing the L&GBM was: *Was it possible to use the improvement opportunities identified during a kaizen event for similar cells?* Understanding that people involvement in lean thinking organizations is a key

element for sustaining results, the idea here was to create and test a simpler version of the L&GBM for a cell, with less steps and complexity, to replicate the improvement opportunities already identified in a previous kaizen event, without losing the team involvement and commitment part.

Following the prerequisites presented in session 5.5 for L&GBM for a cell, the prerequisites for applying the L&GBM for sister cells are:

1. Meet the 7 prerequisites for the L&GBM for a cell;
2. Have a sister cell that has applied in full the L&GBM for a cell within the last 6 months before the proposed new kaizen.

Figure 24 presents the 4 steps of L&GBM for sister cells, a simplified version of the L&GBM for a cell.



Figure 64: 4 steps L&GBM for roll-out to sister cells
Source: Developed by the author.

The general objective of each step is described as follows:

- Step 1 – Identify stable value stream (VS) and environmental aspects and impacts (E): Identify an operational cell that meets all prerequisites for the L&GBM for sisters’ cells certifying that the cell has similar type of mass and energy flows.
- Step 2 - Measure environmental value streams (EVS): Review the map ‘As-Is’, or current process for the sister cell; Review data collection based on the previous work

(review if there are any issues in the environmental data collected for the similar cell and therefore those data can be replicated).

- Step 3 – Improve Environmental Value Streams (EVS): Shorter kaizen workshop; the objective here is to review with the cell operators if the previous improvement opportunities identified by the colleagues that work in a similar cell can be applied iteratively to their cell and also if there is any other improvement idea to be considered. Since the specialists already participated in the full kaizen, the target audience here is the cell operators. The kaizen event for the L&GBM for a sister cell involves fewer people and requires less time. **Figure 25** presents the different group of people that are involved in the kaizen initiative.

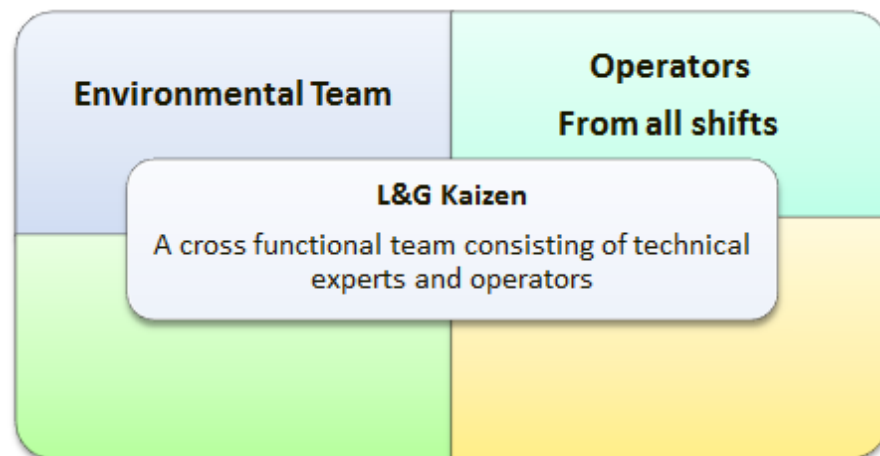


Figure 65: Groups of people that are involved in the kaizen initiative – For a sister cell
Source: Developed by the author.

The basic kaizen structure applied by the L&GBM for a sister cell includes:

- Phase 1: About half hour for introduction, understanding the actual state, the costs and the environmental impacts of the cell mass and energy flows.
- Phase 2: About one hour for team work shop floor exercise. The objective of this is to understand the flow of use or generation of such resource during each cell operation and to verify if the ideas identified in the full kaizen by the other colleagues can be validated here.
- Phase 3: About one hour for consolidating a new action plan for the cell, replicating the previous ideas identified during the full kaizen event and adding new ones.

- Step 4 – Continuous improvement (CI): Develop action and communication plans in the kaizen workshop. Sustainability of the results achieved in the kaizen through leadership standard work.

5.7 L&GBM FOR A VALUE STREAM

As described previously, value streams are the flow of material and information across multiple processes, so that individual process-level improvement efforts fit together as a flowing value stream, match the organization's objectives, and serve the requirements of external customers (HOPP and SPEARMAN, 2008). In order to cope with lean thinking principles of (1) specify the value, (2) identify value streams, (3) make the value flow, (4) let the customer pull the value and (5) pursue perfection, lean thinking organizations use value stream mapping. Value stream mapping is a lean manufacturing technique used to analyze and design the flow of materials and information required to bring a product or service to a consumer. At Toyota, where the technique was originated, it is known as "material and information flow mapping". It can be applied to nearly any value chain. Although value stream mapping is often associated with manufacturing, it is also used in logistics, supply chain, service related industries, healthcare, software development, and product development.

The same idea of redesigning a value stream for improving flow is applied by the L&GBM to a value stream. The difference here is the focus. While traditional value stream application will be focused in fulfilling the client's need, the one that buys or requests a finished good or a service, L&GBM will be focused also in preserving the environment. Therefore, the objective here will be to reduce environmental impact and improve the use of resources. As in the cell model, the objects of study in the L&GBM for a value stream will be the supporting flows for production, mass and energy consumption and wastes generation. Because the end customer for a L&GBM for a value stream is the environment, there's an important difference to be considered.

For a manufacturing perspective, one factory or one location may have more than one product being produced. As a consequence, it may have more than one value stream, all of them co-existing in the same physical location. This is fine for a lean organization since it will mean that in this case the value stream analysis will need to be developed individually,

by value stream, as well as the implementation of improvement opportunities. Lean views waste as non-value added to the customer. The lean boundary is generally defined by a value stream map. Lean promotes high efficiency within the boundary of the system as defined by a value stream map intent on minimizing non-value added. Lean promotes resource conservation inside that boundary, which may be the walls of a plant or may extend to supply chains (the lean path conserve resources in an environmental sense - fewer and shorter material moves, compacting space, improving process-they waste less material or energy doing things that really didn't need to be done).

Sustainability goes beyond this to include environmental impact. So, this very same approach cannot be applicable when the focus is the environment. As discussed in chapter 2, green thinking sees waste as extraction and consequential disposal of resources at rates or in forms beyond that which nature can absorb. Nature is symbiotic. The environmental impact of production process is dependent on the surrounding environment, the soil, the air, etc. Several value streams co-existing in the same location, same site, physical place may have a completely different impact (systemic and synergetic) on the surrounding environment, than their individual impact. **Figure 26** presents a framework to express this idea.

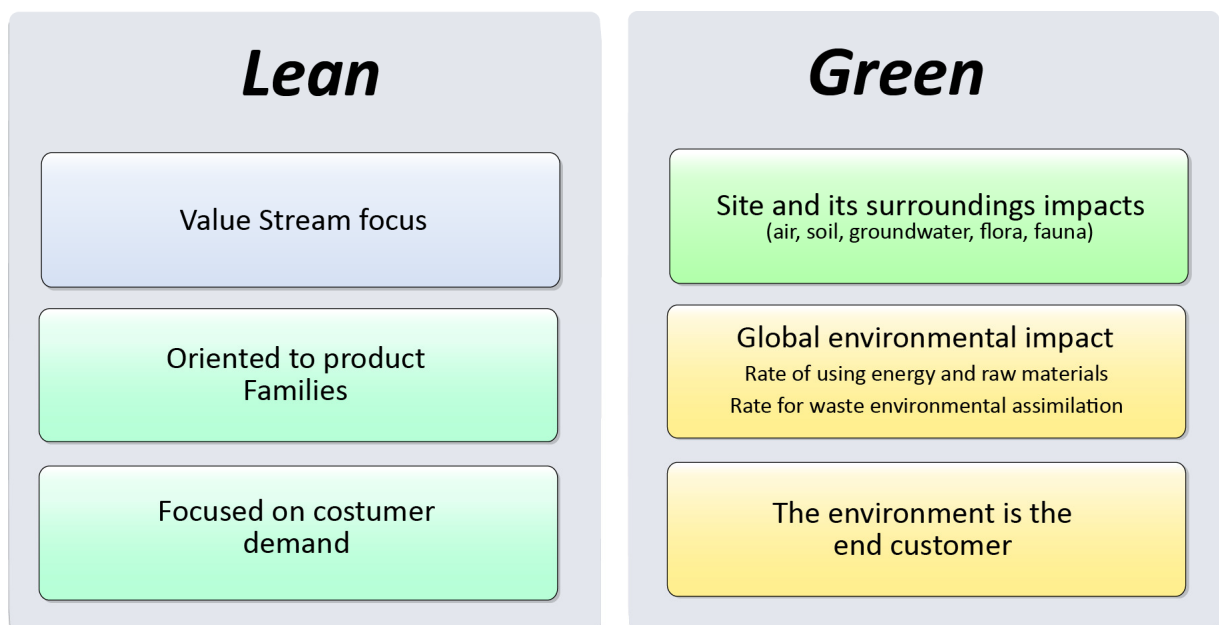


Figure 66: The L&GBM analysis of a value stream – In order to cope with the environmental principles the model considers all the value streams that compose one physical location.

Source: Developed by the author.

The difference between original value stream analysis of a product and the overall site mass and energy balances applied by the L&GBM illustrate this difference in thinking. If several value streams co-exist in the same physical place and this is fine from an end customer point of view, in the case of the environment, that is synergic and dependent on the surrounding environmental conditions, the L&GBM for a value stream proposes the analysis of them all together, and thus considering the overall environmental impact for one specific site. This means that the mass and energy analysis of a value stream, one site, will not be divided by product families, it will be focused in analysis the overall impact to the end customer of this process that is the environment. The expected output of the L&GBM for a value stream is the degree of improvement in these thermodynamic flows and it will be focused in establishing strategies for (1) producing with the maximum productivity in the use of natural resources and with the (2) minimum environmental impact, but it will not be analyzing mass and energy flows of a factory oriented by product families. L&GBM to a value stream will be analyzing mass and energy flows of a factory having the environment as the end customer and so considering the analysis of its overall impact. Besides that difference, all the other characteristics of the L&GBM for a value stream are quite similar to the model presented for the cell, the first level flow. The L&GBM to a value stream is applied to the second level flow, for the production step of the extended value stream, including all the value streams that co-exist in one manufacturing site and their surrounding impact on the environment. **Figure 27** presents this idea.

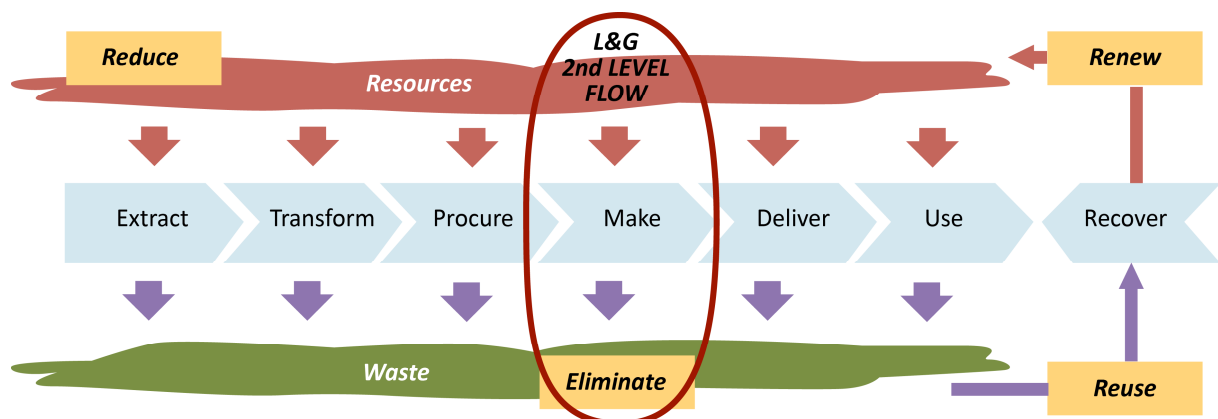


Figure 67: Boundaries of the L&GBM to a value stream
Source: Developed by the author.

Below is a description of the main prerequisites considered for a factory / value stream to be eligible for applying the L&GBM:

1. An overall stable process across all value streams, with delivery records over a 90%;
2. A mature deployment level in using and applying lean tools - for all value streams within the site;
3. Employee Involvement (EI) systems in place;
4. Supportive management team;
5. Factory is ISO 14001 certified and it is on its 2nd improvement cycle;
6. Factory has a significant use of resources (Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy);
7. Structure in place for environmental data collection.

Figure 28 represents the basic standard framework for L&GBM to a value stream.

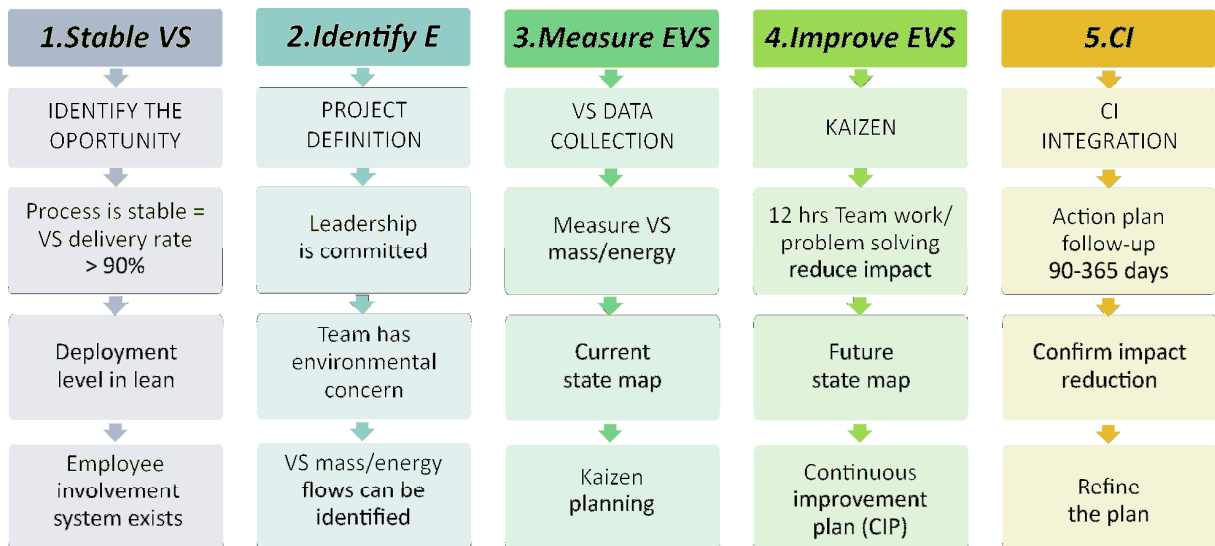


Figure 68: 5 Steps L&GBM for improving supporting flows performance in a factory.
Source: Developed by the author.

The general objective of each step is described as follows:

- Step 1 – Stable value stream (VS): Identify the need for improvement. Identify a site that copes with the prerequisites of the L&GBM for a value stream.
- Step 2 - Identify environmental aspects and impacts (E): Define the process improvement scope by identifying the environmental aspects and impacts of the value stream (in this case, the factory). Aspect and impact definitions are considered according to ISO 14001:2004. An environmental aspect is a feature or characteristic of an activity, product or service that affects or can affect the environment, the cell

inputs or the cell outputs. An environmental impact is a change to the environment caused by environmental aspects resulting from cell inputs and outputs.

- Step 3 - Measure environmental value streams (EVS): Identify the actual data on the environmental process. Collect environmental data. Map 'As-Is', or current process and Identify the environmental process actual data for the whole site, analyzing the overall productivity in the use of resources and the site potential impact on the environment. Organize the Kaizen event. Draw project scope and align objectives for the improvement with the site plant manager and executive team. Define list of people to be involved, since this will require the involvement of several managers and specialists.
- Step 4 – Improve environmental value streams (EVS): Identify waste elimination opportunities during a Kaizen workshop. **Figure 29** presents the people that are involved in the kaizen initiative.

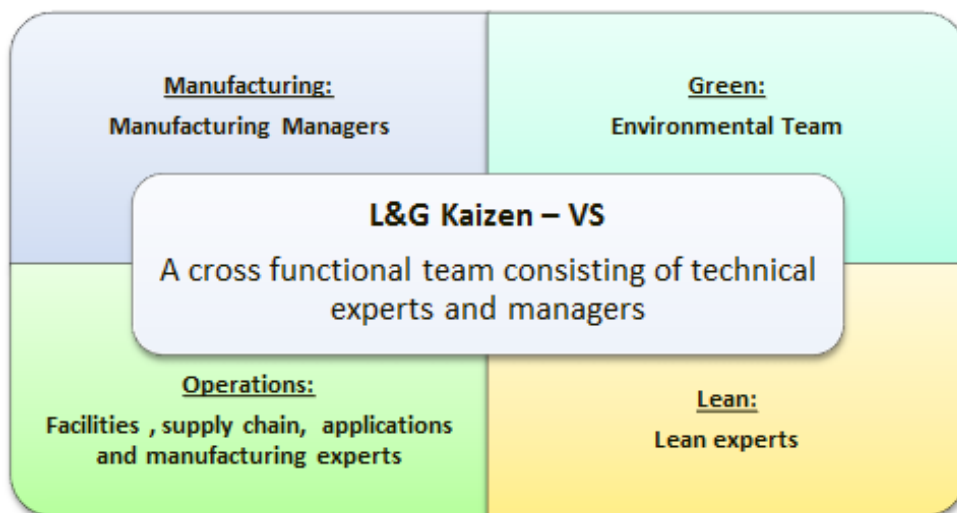


Figure 69: Groups of people that are involved in the kaizen initiative – For a VS
Source: Developed by the author.

Figure 30 presents the basic structure for the kaizen event applied by the L&GBM to a value stream.



Figure 70: L&GBM to a value stream – Kaizen structure
Source: Developed by the author.

- Day 1: About three hours for introduction, understanding the actual state, the costs and the environmental impacts of the factory mass and energy flows and for organizing the cross functional teams that will be responsible for each one of the supporting flows (energy, waste, water, chemicals, etc);
- Day 2: About six hours for team work shop floor exercise. The objective of each team is to understand the flow of use or generation of such resource during operation and its environmental impact. For this, the aspects and impact evaluation sheets from ISO 14001 are used. At the end of the exercise, a prioritization matrix is completed and it is possible to identify the production supporting flows that have more environmental impact as well as the parts, stages, cells that are responsible for the greatest resources usage and waste generation.
- Day 3: About three hours for consolidating the future state map for the mass and energy flows and action plan for the improvement opportunities as well as for prioritizing the cells that represent the greatest environmental impact and where the L&GBM for a cell should be applied (systemic approach). Map the ‘To-Be’, or future process, considering all the analysis developed, create the future map for the supporting production flows studied during the kaizen.
- Step 5 – Continuous improvement (CI): Develop action and communication plans in the Kaizen workshop. Sustainability of the results achieved in the kaizen through leadership standard work (LSW): Validate the action plan with leadership; Connection

between action plan and the environmental management system (ISO 14001) objectives and targets.

Figures 31 and 32 present the frameworks of what is expected after applying the L&GBM to a value stream. Since when applying the L&GBM for a value stream it is studied the overall factory environmental performance, the idea here is to completely integrate the L&GMB analysis and improvement opportunities with factory environmental management structure. Since the projects identified in the value stream level require engineering, analysis and planning, the L&GBM initiative will be integrated to the business management structure, as part of a 2 to 3 year improvement cycle.

<i>IDENTIFICATION OF MASS & ENERGY FLOWS</i>	<i>PRODUCTIVITY IN THE USE OF NATURAL RESOURCES & IMPACT REDUCTION</i>	<i>CONTINUOUS IMPROVEMENT 2-3 YEARS CYCLE</i>
<i>Energy</i>	<i>2nd level flow Kaizen Event</i>	<p>YEAR 1 Priorization of mass & energy flow Environmental strategic projects review Identification of 1st level flow Kaizens</p> <p>YEAR 2 Environmental Performance Evaluation Project stage review Cost savings review Lessons learned</p> <p>YEAR 3 Priorization of mass & energy flow Environmental strategic projects review Identification of 1st level flow Kaizens</p>
<i>Raw material, Raw material wastes</i>		
<i>Water, chemicals, effluents</i>		
<i>Oils, waste oils</i>		
<i>Contaminated wastes</i>		
	<i>Employee Involvement</i>	<i>3-5 years Environment Continuous Improvement Plan</i>
	<i>Problem Solving</i>	

Figure 71: L&GBM to a value stream 2-3 year improvement cycle structure
 Source: Developed by the author.

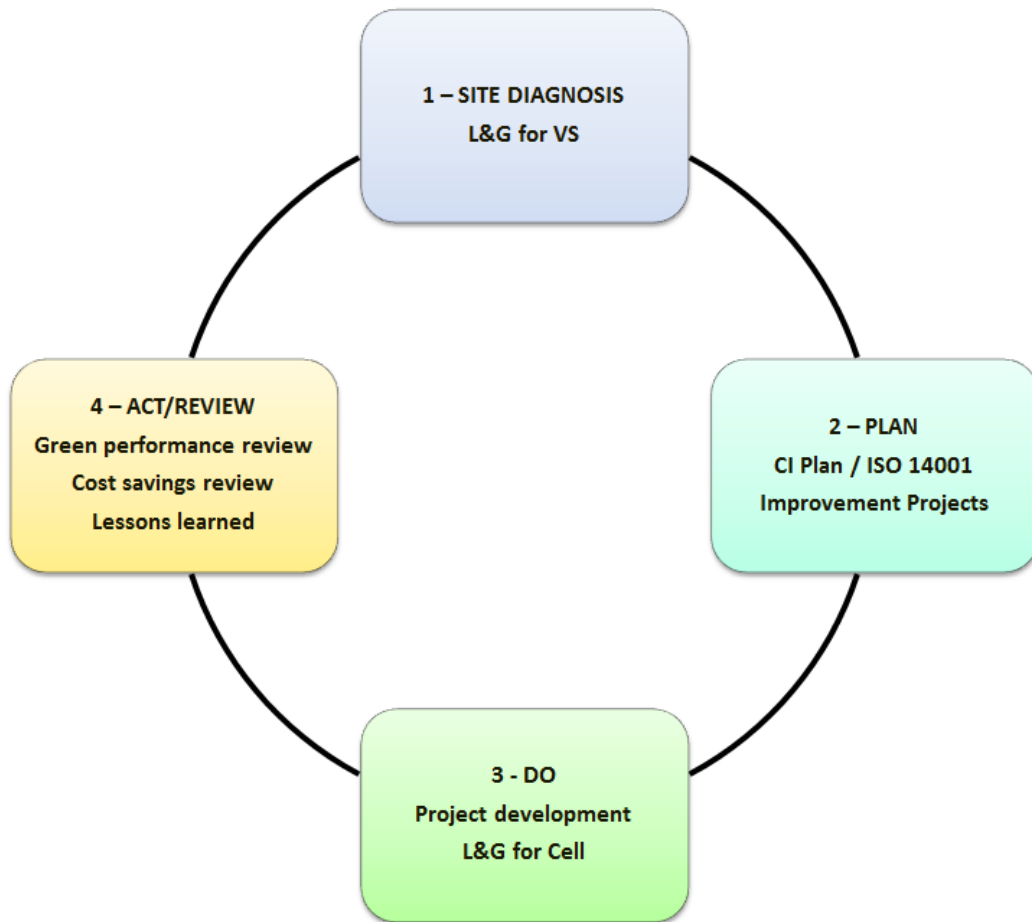


Figure 72: L&GBM to a value stream final planning integrated to the site EMS (ISO 14001) system
Source: Developed by the author.

Following this, the L&GBM initiative will be key step in this process for establishing the site environmental diagnosis. The heart of the model is the identification of the process flows for the main environmental impacts, developed during the kaizen event. The improvement opportunities identified in the kaizen initiative will be integrated to the site continuous improvement plan and ISO 140001/EMS plans. The continuous improvement is sustained through management review of critical value streams and deployment of an environmental continuous improvement plans (CIP) for business strategic projects. The development of the improvement projects and the kaizens at the cell level will compose the operational building block of this cycle which will terminate, in every established period, in reviewing of overall environmental performance, cost savings and lessons learned by the period.

5.8 CONSOLIDATING L&GBM

Table 16 highlights the general characteristics of the L&GBM for the three levels of product flows.

Table 53: Main characteristics of the L&GBM for the three levels of flows.

	Level 1 Flow	Level 2 Flow	Level 3 Flow
Main Objectives	Improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation); Reduce manufacturing processes environmental impact, by reducing environmental wastes generated by production.		
System Output	Improve supporting flows performance in CELL level : Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy.	Improve supporting flows performance in the FACTORY level : Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy, CO2, package, etc. Establishment of LOCAL / FACTORY new environmental strategies.	Improvement of EXTENDED PRODUCT FLOW performance: Raw Materials, Chemicals, Toxic Elements, Water, Waste, Effluent, Energy, CO2, package, etc. Establishment of GLOBAL environmental strategies.
Object of study	CELL supporting flows: Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy.	FACTORY supporting flows: Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy, CO2, package, etc.	EXTENDED PRODUCT supporting flows: Raw Materials, Chemicals, Toxic Elements, Water, Waste, Effluent, Energy, CO2, package, etc.
General main prerequisites for the L&GBM	<ol style="list-style-type: none"> 1. CELL that has a mature deployment level in using and applying lean tools; 2. CELL has a stable process, with delivery records over a 90%; 3. CELL that has already applied Employee Involvement (EI) systems; 4. A management is supporting the lean and green initiative; 5. Good level of environmental awareness/concern exists; 6. CELL has a significant use of resources. 7. Structure in place for environmental data collection. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FACTORY has an overall mature deployment level in using and applying lean tools; 2. FACTORY has a stable process, with delivery records over a 90%; 3. Employee Involvement 4. A management team (Plant Manager) is supporting the lean and green initiative; 5. FACTORY is ISO 14001 certified and it's in its 2nd improvement cycle; 6. FACTORY has a significant use of resources (Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy). 7. Structure in place for environmental data collection. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FACTORIES involved in the E-VSM have an overall mature deployment level in using and applying lean tools; 2. EVSM process is stable, with an average delivery records over a 90%; 3. Employee Involvement 4. A management team (VSM Managers/Directors) is supporting the lean and green initiative; 5. FACTORIES that are part of the EXTENDED FLOW are ISO 14001 certified : 2nd improvement cycle; 6. FACTORIES have a significant use of resources; 7. Structure in place for environmental data collection.

CHAPTER 6: L&GBM APPLICATION AND RESULTS

The description of the application process and results after applying the L&GBM will be discussed on this chapter.

6.1 PILOT TESTING OF THE L&GBM FOR A CELL

The pilot testing presented in this project was developed in the GKN Driveline operations in Brazil. The original model tested during the pilot testing was the same presented in chapter 5. The L&GBM pilot testing was developed to investigate the benefits this could have for the environment and the business, in terms of waste reduction, operational performance and employee commitment. The main objectives of the pilot testing of the L&GBM in a cell were:

- Confirming the five steps proposed as well as the overall structure before rolling it out for several other manufacturing cells;
- Confirming the lean prerequisites and participants;
- Analyzing potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model;
- Identifying model improvement opportunities;

Following this, GKN Driveline in Brazil developed a pilot application for the L&GBM for a cell. The pilot project was developed in model cells (Monobloc A and Assembly 20) with deployment level of lean via a cross-functional kaizen team event to ensure that all the team members were fully involved and had the opportunity to contribute their ideas.

Table 17 below present basic characteristics of the manufacturing operational cells where the L&GBM was applied.

Table 54: Environmental and manufacturing characteristics of the pilot cells where the L&GBM was applied, including the application and evaluation of prerequisites.

Manufacturing characteristics	Monobloc A	Assembly 20
Kaizen Date	nov/08	jun/10
Location	Porto Alegre /RS/Brazil	Porto Alegre /RS/Brazil
Nature of operations	Steel machining of parts for producing a Monobloc (part of a Half-Shaft)	Assembly of manufactured parts for producing a Half-Shaft
Main CELL Mass and Energy Flows	Energy Water Chemicals/oils Effluents Metallic Waste Hazardous Wastes	Energy Waste Grease Hazardous Wastes Cleaning Cloths
Actual State Data: Energy and Materials Consumption and Wastes Generation	Energy Consumption: 261 Mwh /month Water Consumption : 1.4 m ³ /month Chemicals Usage : 0.6 m ³ / month Metallic Wastes : 55 Ton/month Hazardous Wastes: 60 m ³ /month	Energy Consumption: 11 Mwh/month Waste Grease: 0.2 Ton/month Hazardous Wastes: 3 m ³ /month Cleaning Cloths Usage: 3120 units/month
Analysis of Prerequisites		
Level of Lean	Deployment Level	Deployment Level
Process stability	90%	90%
Application of Employee Involvement Tools	In place	In place
Leadership support	High	High
Environmental awareness	In place	In place
Use of resources	High	Medium
Structure for data collection	In place	In place
Total cost of mass and energy flows (R\$ / Year)	R\$ 2.010.000,00	R\$ 967.000,00
Major impact in the CELL environmental cost	Metallic Waste 68%	Grease 75%

The pilot kaizen events were developed at the end of 2008 and 2010, following the five steps model described in chapter 5. After identifying the need for improvement and approving the kaizen model testing with support from the organization leadership, a period of data collection took place with support of facilities and environmental specialists. The data was collected in accordance with to the following structure:

- **Energy:** Use of meters for collecting all energy consumed in a specific period of time (i.e., month). Energy invoices were used to determine the cost.

- **Water:** Use of meters for collecting all water consumed in a specific period of time (i.e., month). Water invoices were used to determine the cost.
- **Metallic and contaminated waste and other waste:** This represents all types of waste produced by a cell in a specific period of time (i.e., month). They were all weighed to determine the quantity. Waste invoices were used to determine the cost.
- **Oils and chemicals:** A company material system (i.e., oracle) is used to access all chemicals used by a cell in a specific period of time (i.e., month). Invoices were used to determine the cost.
- **Effluents:** Use of meters for collecting all effluent generated in a specific period of time (i.e., month). Invoices were used to determine the cost.

With the data, the kaizen structure was organized in order to analyze and review the actual state for the mass and energy flows of the studied cells. The kaizen events were developed involving about 30 people, including all cell operators, leaders and managers, maintenance people, as well as EHS and lean specialists. The basic kaizen event agenda is presented in **Table 18**.

Table 55: L&GBM for a Cell - Kaizen Agenda

Activity #	Topic	Timing	Responsibility	Resources
1	Welcome, concepts and activities	30 min	Project Leader	Presentation and group dynamics activity
2	Environmental waste concept review - Actual State Analyses	30 min	Environmental Specialist	Environmental Wastes Actual State Map
3	Project Scope Review- Environmental prioritization		Lean Leaders	Scope Doc Prioritization matrix and structure
4	Team Work – definition of teams by environmental flow, participants and leaders	30 min	Lean Leader	Data sheets with environmental flow data analysis sheets
5	Shop floor review – Cell waste analysis by team	1 h 30 min	Team Leaders	Data sheets with VSM’s data waste analysis sheets action plan sheets
Break				
6	Team waste analysis consolidation	30 min	Team Leaders	Consolidation sheet, brown paper, Post-it notes, pens
7	Team future state map development	30 min	Team Leaders	Consolidation sheet, brown paper, Post-it notes, pens
8	Team waste action plan development	30 min	Team Leaders	Action plan worksheet
9	Team action plan and future state environmental flow presentation and validation with management team	1 hour	Team Leaders	Environmental flows and action plans worksheets
10	Workshop results/data analysis	15 min	CI Leader	Cost analysis worksheet Consolidate action plan worksheet
11	Closing remarks – workshop results analysis (employee involvement perspective)	15 min	Managers and Project Leader	Free debate
6 hours				

After a six-hour Kaizen event working in teams, with the objective of reducing cost, waste and consumption of natural resources for different production mass and energy flows (Energy, Metallic Waste, Chemical Products, Hazards Waste, Effluents and Water), the teams that were participating in either pilot events defined new future, identifying improvement opportunities for each one of the cell supporting flows. The obtained results from the kaizens are now presented in the **Table 19**.

Table 56: Results of Kaizen event: Identification of improvement opportunities for the cell mass and energy flows.

Cell impact	Monobloc A	Assembly 20
Energy saving: (%)	8%	6%
General Chemical products consumption reduction: (%)	91% (oils)	1% (grease in the product)
Water consumption reduction: (%)	34%	NA
Effluent generation reduction: (%)	69%	NA
Metallic waste generation reduction: (%)	33%	NA
Hazardous waste generation reduction: (%)	67%	45%
Cleaning Cloths Usage reduction: (%)	NA	50%
Grease waste generation reduction: (%)	NA	100%*
Average resources reduction: (%)	50%	40%
NA = Not applicable		
*100% waste elimination due to 100% recycling of grease		

The action plan proposed by kaizen in Monobloc A was 94% implemented and in Assembly 20 was 81% implemented after 1 year of action plan implementation. The action plans from both kaizens were not 100% implemented since some of the ideas proposed by the kaizen teams after detailed technical analyses were considered as not viable by technical experts.

Table 20 presents the implementation results for the kaizens developed in Monobloc A and Assembly 20.

Table 57: Monobloc A and Assembly 20 implementation results.

	Monobloc A	Assembly 20
% action plan implemented	94%	81%
Examples of improvement opportunity ideas that were identified during the Kaizen events that were implemented	<p>For reducing energy usage: Motion sensitive and low energy lights installed in low usage areas;</p> <p>For reducing metallic waste generation: Forgings were redesigned for reducing machining and hence metallic waste;</p> <p>For reducing contaminated waste generation: Plastic wrap containing oil contamination was eliminated from the containers - substantial savings in disposal costs.</p>	<p>For reducing energy usage: All assembly cell lighting system was replaced by to 54watts system that consumes less energy;</p> <p>For reducing grease waste generation: (1) A new system was introduced to re-use the waste grease that was left in the used drums; (2) a new weighing standard was introduced in order to reduce the process waste grease.</p>
% Cost savings by reducing cell's mass and energy flows	13% After implementing the action plans (1 year)	3% After implementing the action plans (1 year)
Cost savings (R\$ / Year)	R\$ 264.000,00 Results after implementing the action plans	R\$ 30.000,00 Results after implementing the action plans

The L&GBM pilot testing was considered successful. Overall, the pilot testing represented a good sample of the totality of people and operations of GKN Driveline Brazil, considering 60 people (4% of the total workforce of GKN in 2010) and 2 cells (3% of the total number of cells in 2010).

The main objectives of pilot testing were (1) confirm the 5 steps proposed and structure for the L&GBM for a cell before rolling it out for other several manufacturing cells of one manufacturing business, (2) confirm the prerequisites and participants, (3) analyze potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model, (4) identify model improvement opportunities, were all achieved. Therefore, the L&GBM for a cell was considered a good strategy for (1) improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation) and for (2) reducing manufacturing processes environmental impact, by reducing all environmental wastes generated by production, the

two main objectives of the L&GBM. A more detailed discussion about the pilot testing will be presented in chapter 7.

The important topic to highlight is that the pilot testing for the L&GBM was considered successful, as it proved the business case for the L&GBM, and it confirmed the proposed characteristics and prerequisites. The L&GBM was then rolled out to other manufacturing cells, including sisters’ cells and for a value stream, which will be presented in the following sessions.

6.2 GLOBAL SPECIALISTS INPUTS REGARDING L&GBM

Table 21 presents the inputs from GKN global environmental specialists related to the benefits and barriers for rolling-out the L&GBM across the group.

Table 58: GKN Global specialists’ inputs related to the benefits and barriers for rolling-out the L&GBM across the group, with the inclusion of some quoting.

Sustainability vectors	Benefits	Barriers
Planet	<p>1.Environmental concern is key for today’s business: “Environment, especially in Europe, is an important point: Customers and stakeholders will push us to improve. Avoiding and reducing waste is one of our main topics in our yearly environmental program.”</p>	<p>1. Access to technology: “Many new technologies available, but pay-back is prohibitive (more than 3 years). Design of products does not normally consider the energy used/needed factor. Access to new technologies not universally available – developing countries; Solar, bio-fuels, wind-turbines, recycling of heat, building insulation – all come at cost without clear profitability.”</p>
	<p>2. Creating a new paradigm - Lean to Green concept: “It was proved that a cell that presents a good Lean system in place has a solid platform for developing environmental improvements in a sustainable way.”</p>	<p>2. Lack of integration of environment into Lean: “GKN Lean training the way it is developed now doesn't appear to encompass environmental savings.”</p>

(Continues)

(Continuation)

Sustainability vectors	Benefits	Barriers
Planet	<p>3. Recreating the concept of cleaner production: “A fresh means to resurrecting an old topic – most of us have been preaching and/ working on Green since the mid-1900’s. This reinvigorates the process and the thinking.”</p>	<p>3. Environment differences worldwide: “Wide gaps between global, region, country and districts – people will generally comply with the local legislation, but not go further. Access to best in class technologies is not available (even basics liked water, and power in India for example) More pressure from local authorities becoming evident – is this good for the company or just cost? Global energy costs rising, but alternatives are governed by what is locally available (Gas, Oil, LPG etc)”</p>
	<p>4.Improve the use of resources: “By improving the flow of resources within the cell - a great potential for reducing environmental impact.”</p>	
	<p>5.An alternative for Pollution Prevention: “Use environmental sustainable practices for addressing pollution prevention initiatives integrated to Lean.”</p>	
People	<p>1.An integrated and systematic approach: “Project combined (1) Employee Involvement, (2) Lean Kaizen approach, (3) Problem Solving & project management; (4) Green environmental thinking.”</p>	<p>1. Lack of awareness by management of real costs and savings potential. 2. Lack of expertise throughout GKN and divisions to direct and guide; Lack of implementers to do Lean and Green.</p>
	<p>2. A team effort: “More thoughts, more potential, more successes; Greater number of people involved in environmental activities - greater understanding and more hands to do the work. Use of EI (Employee Involvement) tools and soft skills for capturing the best ideas.”</p>	
	<p>3.Supporting CI (Continuous Improvement) Culture: “Integrates environmental thinking into Lean activities instead of it being seen as stand-alone - someone else's job.”</p>	

(Continues)

(Conclusion)

Sustainability vectors	Benefits	Barriers
Profit	<p>1. Cost reduction approach - Optimize the use of resources: “Lean is recognized and committed to within GKN – adapting this proven route is a recipe for success - Lean techniques have now gained good efficiency and credibility – will be good approach if we can adapt the tools to Green and prove effectiveness.”</p>	<p>1. Cost priorities: “Many things to do.....no short term benefit. Focus on Customer, and profits. Pressure to reduce headcount. Satisfying stake-holders in the shorter term. Lack of clarity on our priorities & same time too many initiatives we need to support or at least consider.”</p>
	<p>2. Improve overall results : “Looks at the process from start to finish finding opportunities for environmental savings. Therefore, improve overall results (environmental, costs, use of resources, etc.) in a more focused, business oriented approach.”</p>	<p>2. Manufacturing priorities: “All Lean activities need to happen against a basic need to retain sufficient time to make production schedules.”</p>
	<p>3. Operational focus: “Lean has operational focus, we really measure our performance on PCDA (Plan-Do-Check-Act) basis we can do the same Green issues.”</p>	<p>3. Lack of resources: “Competition for time, experts and priority. There’s a lot going on simultaneously. We must as well have in mind that the downturn pushed us to restrict very significantly our resources. Lean tools development took us huge resources and time.”</p>

Figure 33 presents the consolidation of what is presented in the matrix, describing the ten key reasons why L&GBM will be good to GKN and also the ten key reasons why it will be difficult to roll out this concept worldwide.



Figure 73: L&GBM 10 key benefits and barriers according to GKN Global specialists

Source: Developed by the author.

As mentioned previously, the main objectives of the seminars were (1) identify with the specialists the perceived benefits of implementing a Lean and Green initiative within GKN and (2) identify the main barriers for the deploying of this concept. Following what is presented in the **Figure 33**, according to the specialists, the L&GBM will bring several benefits to the company. Perhaps, this list of ten key barriers should be taken into consideration in order to develop the overall idea and scope of the L&GBM across the group. These barriers identified by the specialists should be considered and revisited after pilot testing L&GBM to a cell in different manufacturing environments across GKN.

6.3 ROLL OUT THE L&GBM FOR A CELL

The rolling out of the L&GBM for a cell presented in this project was developed in the GKN Driveline operations in Brazil, Porto Alegre and Charqueadas sites, during 2011 and 2012. All seven kaizens presented here were developed during 2011 and the implementation of the action plans was monitored through 2012 and finalized in December, 2012. The main objectives of the roll out were:

- Applying the L&GBM in several different manufacturing cells of one manufacturing business, integrating it with pre-existing lean structure and evaluating its potential for (1) improving manufacturing processes resources productivity and for (2) reducing manufacturing processes environmental impact;
- Confirming the prerequisites by testing the model in different circumstances;
- Evaluating potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model;
- Identifying model improvement opportunities;

The model applied for the roll out was the same presented in session 5.5 L&GBM for a cell. The kaizens developed followed the same structure also presented in session 5.5, involving in all of them about 20 to 30 people, including operators, specialists and managers. The agenda for the kaizen event was the same developed for the pilot testing, already presented in session 6.1. The data was collected accordingly to the structure presented in session 5.5 and detailed in session 6.1, where the pilot test was presented. In total, during 2011, 7 kaizens were developed, according to the agenda presented below:

- Feb/11 – Shaft A
- Mar/11 – Tripod A
- Jul/11 – Fixed Join C, PF B, Cage A
- Ago/11 – PF A, AIR A

The roll-out represented a good sample of the totality of people and operations of GKN Driveline Brazil, a total of 15% of the total workforce of GKN in 2011 and 12% of the total number of cells in 2011. All these seven manufacturing cells from GKN Driveline operations in Brazil have different characteristics in terms of prerequisites for accomplishing the L&GBM for a cell. **Tables 22 and 23** present the basic characteristics of the manufacturing operational cells where the L&GBM was applied.

Table 59: Shaft A, Tripod A, FJ C, PF B environmental and manufacturing characteristics, including the evaluation of prerequisites

Manufacturing characteristics	Shaft A	Tripod A	FJ C	PF B
Kaizen Date	feb/11	mar/11	jul/11	jul/11
Location	Charqueadas	Porto Alegre	Porto Alegre	Charqueadas
Nature of operations	Steel machining of Shafts (Part of a Half-Shaft)	Steel machining of Tripods (Part of a Half-Shaft)	Steel machining fixed joints (Part of a Half-Shaft)	Precision Forming (Forging of parts)
Main CELL Mass and Energy Flows	Energy Water + Effluents Chemicals/oils Hazardous Wastes Metallic Wastes	Energy Water + Effluents Chemicals/oils Metallic Wastes General Wastes (Cleaning Cloths and others)	Energy Water + Chemicals/oils+ Effluents Metallic Wastes Hazardous Wastes	Energy Chemicals/oils Water + Effluents Metallic Wastes
Actual State Data: Energy and Materials Consumption and Wastes Generation	Energy Consumption: 155 Mwh /month Water Consumption : 36,4 m ³ /month Effluent generation: 54,6 m ³ / month Chemicals Usage : 1.466 L / month Metallic Wastes : 26,6 Ton/month Hazardous Wastes: 1,66 Ton/month	Energy Consumption: 72,1 Mwh /month Water Consumption : 3,14 m ³ /month Effluent generation: 6,28 m ³ / month Chemicals Usage : 2.921 L / month Metallic Wastes : 17,8 Ton/month Cleaning Cloths Usage: 411 pc/month	Energy Consumption: 120,7 Mwh /month Water Consumption : 9,92 m ³ /month Effluent generation: 10,7 m ³ / month Chemicals Usage : 555 L / month Metallic Wastes : 38,3 Ton/month Hazardous Wastes: 4,3 m ³ /month	Energy Consumption: 527,6 Mwh /month Water Consumption : 18,2 m ³ /month Effluent generation: 24,7 m ³ / month Chemicals Usage : 3.600 L / month Metallic Wastes : 26,9 Ton/month
Analysis of Prerequisites				
Level of Lean	Deployment Level	Advanced Level	Deployment Level	Implementing Level
Process stability	90%	more than 90%	90%	less than 90%
Application of Employee Involvement Tools	In place	Very High	In place	In place
Leadership support	In place	Very High	In place	In place
Environmental awareness	In place	In place	In place	In place
Use of resources	High	Medium	High	Very High
Structure for data collection	In place	In place	In place	In place
Total cost of mass and energy flows (R\$ / Year)	R\$ 1.550.270,00	R\$ 801.565,00	R\$ 1.606.290,00	R\$ 2.827.911,00
Major impact in the CELL environmental cost	Metallic Waste 63%	Metallic Waste 66%	Metallic Waste 72%	Energy 53%

Table 60: Cage A, PF A, AIR A environmental and manufacturing characteristics, including the evaluation of prerequisites

Manufacturing characteristics	Cage A: A1-A2	PF A	AIR A
Kaizen Date	jul/11	ago/11	ago/11
Location	Porto Alegre	Charqueadas	Porto Alegre
Nature of operations	Steel machining of cages (Part of a Half-Shaft)	Precision Forming (Forging of parts)	Steel machining of rings (Part of a Half-Shaft)
Main CELL Mass and Energy Flows	Energy Chemicals/oils Metallic Wastes Hazardous Wastes	Energy Chemicals/oils Water + Effluents Metallic Wastes	Energy Effluents Chemicals/oils Metallic Wastes Hazardous Wastes General Wastes
Actual State Data: Energy and Materials Consumption and Wastes Generation	Energy Consumption: 121 Mwh /month Chemicals Usage : 2.245 L / month Metallic Wastes : 18,3 Ton/month Hazardous Wastes: 4,4 m ³ /month	Energy Consumption: 738 Mwh /month Water Consumption : 1.382 m ³ /month Effluent generation: 823,5 m ³ / month Chemicals Usage : 31.101 L / month Metallic Wastes : 27 Ton/month	Energy Consumption: 71,8 Mwh /month Effluent generation: 8,8 m ³ / month Chemicals Usage : 1.620 L / month Metallic Wastes : 1,45 Ton/month Hazardous Wastes: 4,6 m ³ /month General Waste: 23 units/month
Analysis of Prerequisites			
Level of Lean	Deployment Level	Implementing Level	Deployment Level
Process stability	90%	less than 90%	90%
Application of Employee Involvement Tools	In place	In place	In place
Leadership support	In place	In place	In place
Environmental awareness	In place	In place	In place
Use of resources	High	Very High	Low
Structure for data collection	In place	In place	In place
Total cost of mass and energy flows (R\$ / Year)	R\$ 1.530.545,00	R\$ 5.508.704,00	R\$ 326.064,00
Major impact in the CELL environmental cost	Metallic Waste 71%	Chemicals - 40% Energy - 38%	Energy 62%

After a six-hour kaizen event working in teams, with the objective of reducing cost, waste and consumption of natural resources for different production mass and energy flows

(Energy, Metallic Waste, Chemical Products, Hazards Waste, Effluents and Water), the teams that were participating in each kaizen event defined a new future, identifying improvement opportunities for each one of the cell supporting flows. The produced results of the kaizens are now presented in the **Table 24**.

Table 61: Results of the seven kaizen events developed during 2011

	Shaft A	Tripod A	FJ C	PF B	Cage A: A1-A2	PF A	AIR A
Energy saving: (%)	2,8%	14,4%	10,3%	2,0%	11,0%	1,7%	4,7%
Water consumption reduction: (%)	100%	28,2%		1,1%	NA	72,2%	NA
General Chemical Products consumption reduction: (%)	29,2% (oils)	86,4% (oils)	44,8% (Water, chemicals and effluents)	49% (forging oil)	60% (oils)	7,0%	76,1% (oils)
Effluent generation reduction: (%)	100%	28,2%		1,1%	NA	72,2% (phosphate effluent)	0%
Metallic Waste generation reduction: (%)	20,1%	19,1%	1,5%	27,7%	1,2%	14,3%	0%
Hazardous Waste generation reduction: (%)	55,2%	NA	50,0%	NA	50,0%	NA	50,0%
General waste generation reduction: (%)	NA	66% (Cleaning Cloths Usage)	NA	NA	NA	NA	5,0%
Average resources reduction: (%)	50%	40%	27%	17%	31%	34%	34%
NA = Not applicable							
*100% waste elimination due dry turning							

Table 25 and 26 shows the implementation results for the kaizens developed in these seven cells of the roll-out. Those kaizens were all developed along 2011 and the implementation results of the plans were tracked along 2011 and 2012.

Table 62: Shaft A, Tripod A, FJ C, PF B kaizens implementation results

Implementation results	Shaft A	Tripod A	FJ C	PF B
% action plan implemented (2011-2012)	68%	86%	40%	55%
Examples of improvement opportunity ideas that were identified during the Kaizen events that were implemented	<p>For reducing energy usage: (1) lighting system was replaced by to 54watts system that consumes less energy; (2) reduction of compressed air leakage;</p> <p>For reducing chemical products usage: (1) leakage eliminations; (2) elimination of sources of contamination of hydraulic and cutting oils;</p> <p>For reducing water usage and effluent generation : (1) elimination of usage of soluble oil GROB 1146;</p>	<p>For reducing chemical products usage: (1) development of recipients for re-using oils in the cell (2) implementing dry turning in most of operations;</p> <p>For reducing metallic waste generation: (1) reduction of extra source of metallic material in the part (reduction of extra material in the top of the part and internal diameter);</p>	<p>For reducing energy usage: (1) implementation of a system for turning off the machines at the end of the cycle;</p> <p>For reducing chemical products usage: (1) reduction of the use of fluorescent concentrate due to an improvement in the mixing of the product;</p>	<p>For reducing metallic waste generation: (1) improvement in the storage of the steel. (2) Improvement in the weighing system after the cutting operation;</p> <p>For reducing chemical products usage: (1) Daily inspection of hydraulic system to eliminate contamination of Lubrodal emulsion with hydraulic oil;</p>
Cost savings (R\$/year) Actions implemented along 2011-2012	R\$ 97.318,19	R\$ 153.604,21	R\$ 66.572,93	R\$ 317.946,51
% Cost savings by reducing cell's mass and energy flows	6,3% After implementing the action plans	19% After implementing the action plans	4% After implementing the action plans	11% After implementing the action plans

Table 63: Cage A, PF A, AIR A kaizens implementation results

Implementation results	Cage A: A1-A2	PF A	AIR A
% action plan implemented (2011-2012)	60%	58%	50%
Examples of improvement opportunity ideas that were identified during the Kaizen events that were implemented	<p>For reducing hazardous waste generation: (1) implementation of a system to re-use gridding sludge paper filter;</p> <p>For reducing chemical products usage: (1) development of protections to avoid oil leakages, adaptation of the system to return extra oil to the machine tanks;</p>	<p>For reducing metallic waste generation: (1) Reduction of the size/dimension of the part);</p> <p>For reducing water usage and effluent generation : (1) Elimination of extra sources of water entrance in the phosphate line, reducing overall effluent generation;</p>	<p>For reducing chemical products usage: (1) Changing the system that segregates gridding sludge and oil for re-use;</p> <p>For reducing hazardous waste generation: (1) implementation of a system to re-use gridding sludge paper filter;</p>
Cost savings (R\$/year)			
Actions implemented along 2011-2012	R\$ 61.910,55	R\$ 116.860,33	R\$ 25.079,20
% Cost savings by reducing cell's mass and energy flows	4%	2%	8%
	After implementing the action plans	After implementing the action plans	After implementing the action plans

The L&GBM for a cell roll out was considered successful.

The roll-out involved a total of 15% of the total workforce of GKN Brazil in 2011 and 12% of the total number of cells in 2011. The mass and energy flows improvements as a result of the roll-out were all monitored along 2012 and the improved results were all confirmed. Overall, after 1 year of implementation period, the action plans for the seven kaizens developed were in average 60% implemented, saving around R\$ 839.292,00, which represented a 5,5% reduction for the cells mass and energy flows.

The main objectives of the testing (1) applying the L&GBM in several different manufacturing cells of one manufacturing business, integrating it with pre-existing lean structure, (2) testing the model prerequisites in different circumstances, (3) evaluating potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model, (4) Identifying model improvement opportunities, were all developed successfully.

Therefore, the L&GBM for a cell roll out confirmed the results already presented in the pilot testing. The model can be considered for a good strategy for (1) improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation) and for (2) reducing manufacturing processes environmental impact, by reducing all environmental wastes generated by production. A more detailed discussion about the roll out, especially regarding the results achieved by the cells that presented different levels for the seven prerequisites, will be presented in chapter 7.

6.4 APPLYING THE L&GBM TO SISTER CELLS

The roll out of the L&GBM for sister cells presented in this project was developed in the GKN Driveline operations in Brazil, Porto Alegre site, during 2011. All three kaizens presented here were developed along 2011 and the implementation of the action plans was monitored along 2012 and was finalized in December, 2012. The objectives of the testing were:

- Applying and test the L&GBM for sisters in several different manufacturing cells of one manufacturing business;
- Confirming the prerequisites;
- Evaluating potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model and compare it with the L&GBM for a cell;
- Identifying model improvement opportunities;

The model applied was the same presented in session 5.6, L&GBM for sister cells. The kaizens developed followed the same structure presented in session 5.6, and since it is a simpler kaizen, involving mainly operators. In total, during 2011, three kaizens were developed, involving about ten sisters cells, according to the agenda presented below:

- Aug/11 – Tripod B and C, sister cell to Tripod A
- Sep/11 – AIR B, C, D, E, sister cell to AIR A
- Nov/11 – AIR F, G, H, I, sister cell to AIR A

Table 27 presents the basic characteristics of the manufacturing operational cells where the L&GBM for sister cells was applied.

Table 64: Environmental and manufacturing characteristics of the cells where the L&GBM was applied, including the application and evaluation of the cell prerequisites.

Manufacturing characteristics	Tripod B_C	AIR B_C_D_E	AIR F_G_H_I
Kaizen Date	aug/11	sep/11	nov/11
Location	Porto Alegre	Porto Alegre	Porto Alegre
Nature of operations	Steel machining	Steel machining	Steel machining
Main CELL Mass and Energy Flows	Energy	Energy	Energy
	Water + Effluents	Effluents	Effluents
	Chemicals/oils	Chemicals/oils	Chemicals/oils
	Metallic Wastes	Metallic Wastes	Metallic Wastes
	General Wastes (Cleaning Cloths and others)	Hazardous Wastes General Wastes	Hazardous Wastes General Wastes
Actual State Data: Energy and Materials Consumption and Wastes Generation		Energy Consumption: 287,2 Mwh /month	Energy Consumption: 287,2 Mwh /month
		Effluent generation: 35,2 m ³ / month	Effluent generation: 35,2 m ³ / month
	Energy Consumption: 186,2 Mwh /month	Chemicals Usage : 6.480 L / month	Chemicals Usage : 6.480 L / month
	Water Consumption : 1,3 m ³ /month	Metallic Wastes : 5,8 Ton/month	Metallic Wastes : 5,8 Ton/month
	Chemicals Usage : 5.842 L / month	Hazardous Wastes: 18,4 m ³ /month	Hazardous Wastes: 18,4 m ³ /month
	Metallic Wastes : 35,4 Ton/month	General Wastes: 92 units/month	General Wastes: 92 units/month
Analysis of Prerequisites			
Level of Lean	Advanced Level +++	Deployment Level +	Deployment Level +
Process stability	more than 90% +++	<90% +	<90% +
Application of Employee Involvement Tools	Very High +++	In place +	In place +
Leadership support	Very High +++	In place +	In place +
Environmental awareness	In place +	In place +	In place +
Use of resources	Medium -	Low -	Low -
Structure for data collection	In place +	In place +	In place +
Total cost of mass and energy flows (R\$ / Year)	R\$ 1.185.420,00	R\$ 1.304.259,00	R\$ 1.304.259,00
Major impact in the CELL environmental cost	Metallic Waste 66%	Energy 62%	Energy 62%

After almost three hours of kaizen event, with the objective of reducing cost, waste and consumption of natural resources for different production mass and energy flows (Energy, Metallic Waste, Chemical Products, Hazards Waste, Effluents and Water), the teams that were participating of each event defined a new future state for the cell, identifying improvement opportunities for each one of the cell supporting flows.

Table 28 presents the implementation results for the three kaizens. These kaizens were all developed during 2011 and the implementation results of the plans were tracked through 2011 and 2012.

Table 65: Tripod B_C, AIR B_C_D_E and AIR F_G_H_I kaizens implementation results

Implementati on results	Tripod B_C	AIR B_C_D_E	AIR F_G_H_I
% action plan implemented (2011-2012)	65%	14%	18%
Examples of improvement opportunity ideas that were identified during the Kaizen events that were implemented	<p>For reducing chemical products usage: (1) development of recipients for re-using oils in the cell;</p> <p>For reducing water consumption and effluent generation : (1) reuse water from washing machine and air conditioners for cleaning floors;</p>	<p>For reducing chemical products usage: (1) elimination of chemical products leakages;</p>	<p>For reducing energy usage: (1) lighting system was replaced by to 54watts system that consumes less energy;</p> <p>For reducing water consumption and effluent generation : (1) reuse water from air conditioners for cleaning the floors;</p>
Cost savings (R\$/year)			
Actions implemented along 2011-2012	R\$ 42.095,63	R\$ 6.294,00	R\$ 9.297,52
% Cost savings by reducing cell's mass and energy flows	3,5%	0,5%	1%
	After implementing the action plans	After implementing the action plans	After implementing the action plans

The mass and energy flows improvements as a result of the L&GBM for sisters' cells were all monitored along 2012 and the improved results were all confirmed. Overall, after 1 year of implementation period, the action plans for the three kaizens developed were in

average 32% implemented, saving around R\$ 57.687,15, which represented 1,7 % reduction for the cells mass and energy flows.

Therefore, although the idea of the L&GBM for sisters was to develop a simpler kaizen, results show that this insufficient involvement of specialists and analysis of the mass and energy flows during the kaizens resulted in action plans less implemented (32% in this case, for the roll out the average was 60%), and as a consequence less reduction in both mass and energy flows of the cells (1,7% in this case, for the roll out the average was 5,5%) and financial savings. A more detailed and conclusive discussion about the L&GBM for sisters' cells will be presented in chapter 7.

6.5 APPLYING THE L&GBM TO A VALUE STREAM

The application of the L&GBM to a value stream presented in this project was launched in the GKN Driveline operations in Brazil, Porto Alegre and Charqueadas sites, in November 22nd, 2011, action plan was tracked along 2012 and 2nd level flow kaizen event was repeated on November 29th, 2012. The main objectives of this test were:

- Confirm the L&GBM for a value stream prerequisites;
- Use the L&GBM for a value stream to prioritize lean and green 1st level of flow kaizens for 2012;
- Understand mass and energy 2nd level flow current state, identify improvement opportunities through team work, proposing a new future state and an action plan;
- Integrate L&GBM for a value stream kaizen results and plans with the site existing structure (Strategic planning, improvement plans, ISO 14001 System).

The structure used for applying the L&GBM for a value stream was the same presented in session 5.7. **Figures 34 and 35** present an overall idea of the kaizen scope.

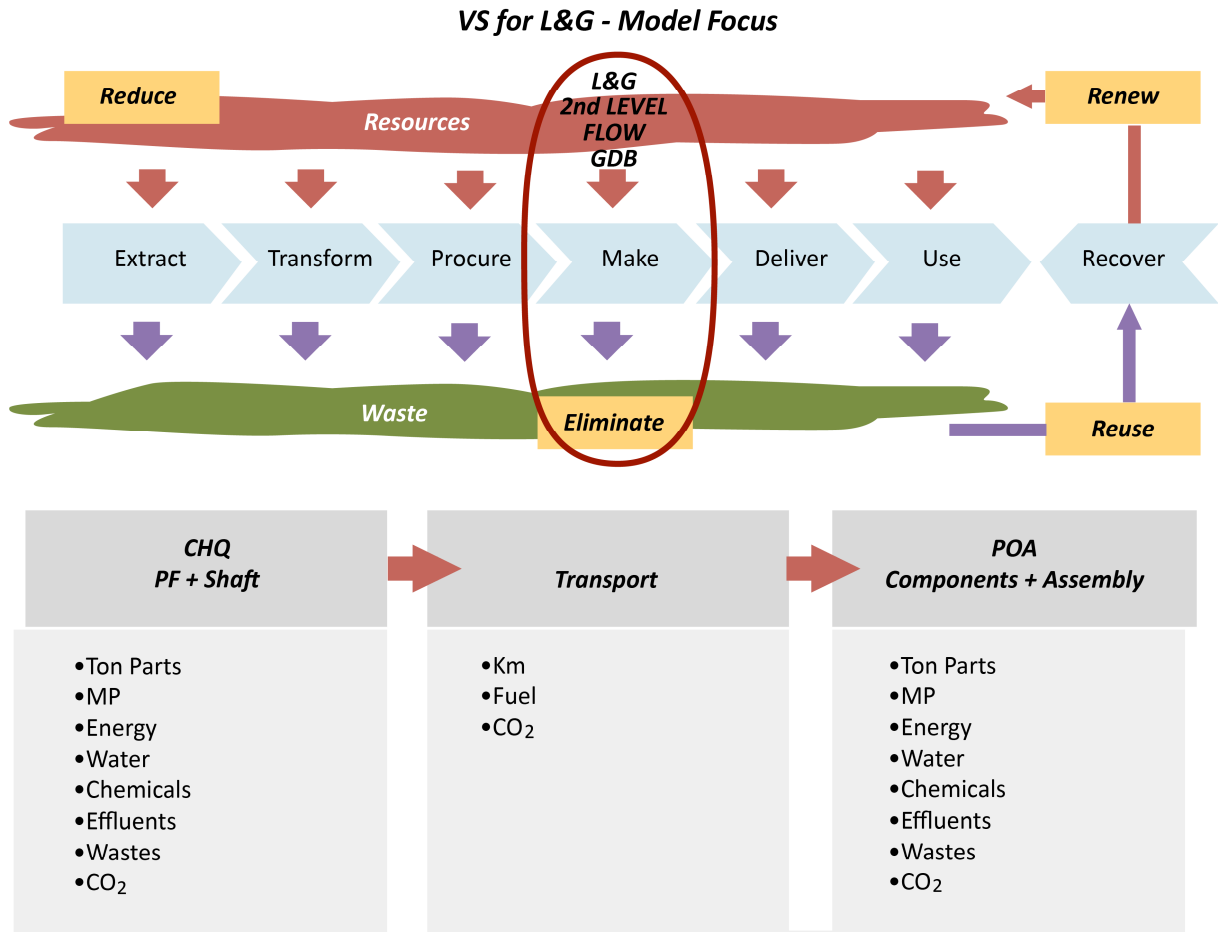
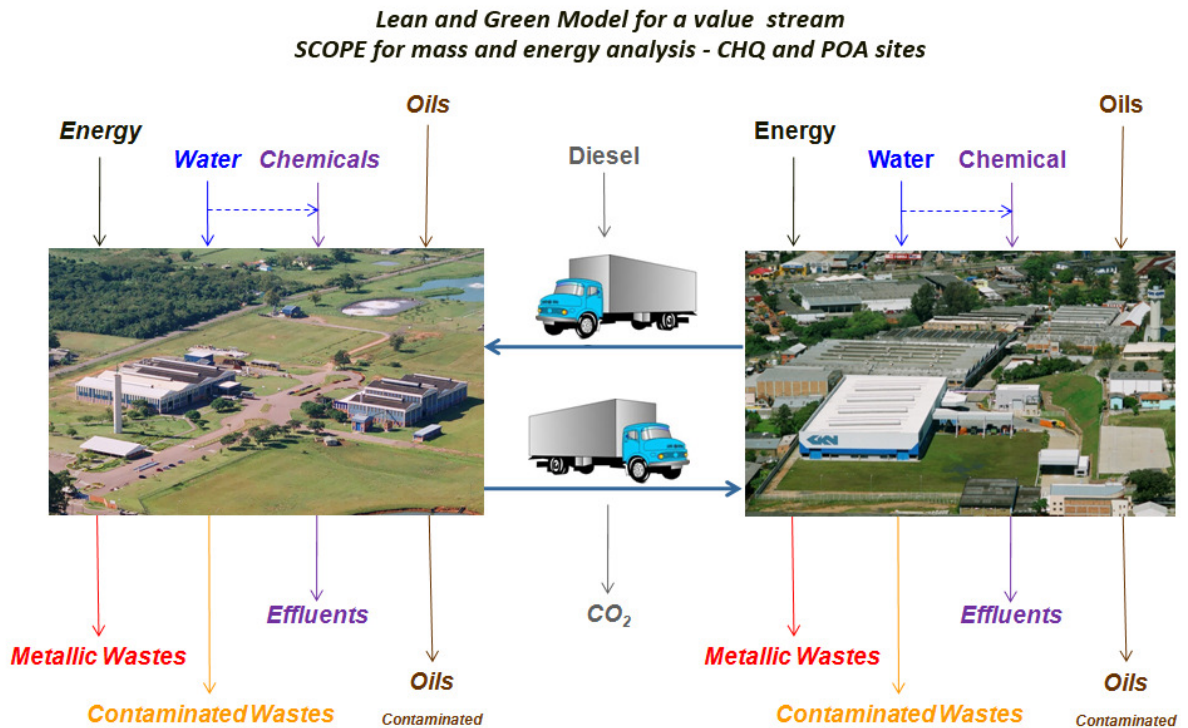


Figure 74: Overall idea of the L&GBM for a value stream application at GKN Driveline Brazil operations



* Activities excluded: Heat Treatment and Painting

Figure 75: GKN Driveline Brazil operations: mass and energy flows that will be studied during the kaizens

All the data used for the kaizen event was collected, compiled and organized by GKN Brazil Environmental Team (environmental specialists). The data used for this kaizen have the following sources:

- **Energy:** Energy meters were used for collecting energy data (GKN Brazil metering system, energy suppliers' meters (CEEE) and GKN DCS internet system). Data was collected for the macro sites (POA and CHQ) on a monthly basis. Energy invoices were used to access the cost.
- **Water:** Water meters were used for collecting water data (GKN Brazil metering system, water suppliers' meters (DMAE and CORSAN) and GKN DCS internet system). Data was collected for the macro sites (POA and CHQ) on a monthly basis. Water invoices were used to access the cost.
- **Metallic and contaminated wastes:** Every single container of waste generated by POA and CHQ sites were weighed before they left the sites. GKN Brazil weight system was used, GKN DCS and Fepam (environmental agency) internet system were used for controlling monthly waste generation data. Waste invoices were used to access the cost.
- **Oils and chemicals:** GKN Brazil material system (oracle) was used to access the consumption of each individual source of chemical used by the macro sites (POA and CHQ). Invoices were used to access the cost.
- **Effluents:** Effluent meters were used for collecting effluent data for each individual stream of effluent generated by the macro sites (POA and CHQ) on a monthly basis. Invoices of chemicals and environmental cost were used to access the cost of the effluent generated by POA and CHQ sites.

As shown in **Figure 35**, at the value stream level, the data used is the overall result of all GKN Driveline Brazil operations mass and energy flows. The data used for the kaizens in this case are macro level data. The metering system used for collecting the data is maintained and calibrated according with GKN Driveline Brazil measurement system standards (ISO 14001:2004 / Clause 4.5.1 - monitoring and measuring). The source of data used for the kaizen is the same one that GKN Driveline Brazil uses for submitting information to external authorities. It is inspected annually by external auditors for certification of accuracy and confidence of the measurement.

The 2nd level flow kaizens developed in GKN Driveline Brazil followed the same structure presented in session 5.7, involving about 30 people, a cross functional team consisting of technical experts and managers.

As also presented in session 5.7, the idea of L&GBM for a value stream is that the improvement opportunities will be integrated as part of the continuous improvement structure of the site. The agenda and kaizen structure was based on that idea, as it was presented in **Figure 32**.

In the case of GKN Driveline Brazil, it was developed years 1 and 2 of the 2-3 years improvement cycle proposed by the L&GBM for a VS.

The 2nd level flow kaizen was first developed in November 2011. In that year it was reviewed the results for the mass and energy flows of the value stream, environmental strategic projects were identified, 1st level flow kaizens were prioritized. With the action plan identified, improvement opportunities were implemented and results were tracked along 2012.

Then, data was collected again and a new kaizen was developed in 2012. In this new kaizen it was reviewed the results (environmental performance review), projects and cost savings, lessons learned. A new improvement plan was generated for the 2013 period. This process will be detailed in the following pages.

Table 29 presents the basic characteristics of GKN Driveline Brazil manufacturing operations, including the evaluation L&GBM for VS prerequisites for the kaizens developed in 2011 and 2012.

Table 66: L&GBM for a VS – Project scope and analysis of prerequisites

Lean & Green Kaizen Project Scope		
GKN Site name:	GKN Driveline Brazil - POA and CHQ	
Main products:	Precision forming parts, components and Half-shafts	
Nature of operations:	(1) Machining of parts – Shafts, Monoblocs, Fixed Joints, Components (2) Painting of Shafts (3) Heat treatment of Components (4) Assembly of Half-Shafts (5) Precision forming – Forging of parts (6) Phosphate treatment of forged parts	
Activities included in the value stream analysis:	(1) Machining (4) Assembly (5) Precision forming (6) Phosphate treatment	
Activities excluded of the value stream analysis:	(2) Painting (3) Heat treatment These two processes were excluded because they are two unique cells, therefore they will be treated separately, as in first level flow kaizens.	
Lean & Green Kaizen - Prerequisites		
YEAR	2011	2012
Dates of the Kaizens:	22/Nov/2011	29/Nov/2012
Sales in the period:	6.200.000 SEH	6.400.000 SEH
Annual tones of shipped parts:	57.197 Ton	59.038 Ton
Average Delivery rating (DAS):	92%	94%
Level of Lean:	Deployment	Deployment
Application of Employee Involvement Tools:	Deployment	Deployment
Cell/Site ISO 14001 Certification:	Since 2000 - 4 ^o Cycle	Since 2000 - 4 ^o Cycle
Data of the latest environmental training received by the site Team Members:	jul/11	jun/12
Site has an intensity use of resources?	YES	YES
Main supporting e-flows are cost intensive?	YES	YES
Data collection structure?	YES	YES

Table 30 presents the 2011 data and results for the mass and energy flows studied for the application of the L&GBM for VS of GKN Driveline Brazil manufacturing operations.

Table 67: Data collected for mass and energy flows – 2011 period

	1. Electric Energy	2. Metallic wastes	3. Water, machining chemicals and effluents	4. Oils and contaminated oils	5. Contaminated Wastes
Main supporting flows description:	1. Electric Energy POA and CHQ	1. Metallic Wastes (Chips) 2. Scrap (Piercing, bars, others) 3. Metallic sludge	1. Water 2. Effluents 3. Cooling liquids	1. Oils (for machines, maintenance and protection) 2. Waste oils (POA and CHQ)	1. Contaminated Filter paper 2. Contaminate grease 3. Contaminate boots 4. General contaminated wastes (plastic, paper, others)
E-Flows - Physical Measurement	86.185 Mwh	12.739 Ton	1. Water : 112.467 m ³ 2. Effluents: Shaft: 2.310 m ³ Phosphate: 7.798 m ³ PF: 1.445 m ³ POA: 6.675 m ³ 3. Cooling liquids Shaft: 15.320 L Phosphate: 51.695 L PF: 357.510 L POA: 93.556 L	1. Oils: 730.630 L 2. Waste oils: 105.640 L	1. Total contaminated waste: 1.640 m ³ + 35.610 pieces of boots
Actual State Cost Results:	R\$19,55Mi	R\$44,81Mi	R\$7,26Mi	R\$3,734Mi	R\$1,39Mi
Environmental Performance Indicators: (e-flow / Tones of parts)	1,506 Mhw/Ton	0,222 Ton /Ton	1,966 M ³ water/Ton 0,2 m ³ effluent POA /Ton	12,77 L new oil /Ton	0,028 M ³ /Ton

During the first kaizen, in 2011, all managers and specialists participating in the kaizen were invited to review the actual state, analyze improvement opportunities and propose a future state. For developing this activity, managers and specialists divided into teams.

On day one of the kaizen, the objective was to review the project scope and understand actual state. Three hours were dedicated to these activities. On day two of the kaizen, the objective was to set a common overview about manufacturing areas, main environmental impacts and costs rate. Since GKN Driveline Brazil has six operational manufacturing units (Shaft and Precision Forming in Charqueadas and Assembly, Components, Fixed Join and Plunging Join in Porto Alegre), led by each manufacturing manager, starting from the waste and effluent treatment areas to the manufacturing area, the teams reviewed all operations and processes in order to identify the key points for environmental impact, cost impact and flow impact. **Figure 36** presents an example of the exercise developed with the team while they were at the shop floor.



 GKN Lean & Green Project 																																																																																															
Sheet 2: Shop floor environmental review - team dynamic																																																																																															
Date:																																																																																															
Site Name:																																																																																															
BU Name:																																																																																															
BU Manager:																																																																																															
Obj1:																																																																																															
Kaizen Team :																																																																																															
Ver 1 18/Nov/2011 By Andrea Pampanelli																																																																																															
Activity 2: BU Overall Environmental Analysis - Shop floor environmental review team dynamic Objective: Establish a common overview about BU main environmental impacts, cost rate, corporate impact rate. Total Time for this activity: 110 minutes Rating inputs: Environmental impact: 81: High / 27: Medium / Less than 27: Low Cost impact rate: High cost x High/Medium Env impact = High Corporate requirement : Yes: High / No: Low Production / flow impact rate: Yes: High / No: Low																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1. Electric Energy</th> <th>2. Metallic wastes</th> <th>3. Water, machining chemicals and effluents</th> <th>4. Oils and contaminated oils</th> <th>5. Contaminated Wastes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cell 1 : 02 -Shaft - A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Environmental impact rate:</td> <td>Red</td> <td>Red</td> <td>Red</td> <td>Yellow</td> <td>Yellow</td> </tr> <tr> <td>Cost impact rate:</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>Corporate impact rate:</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>Production / flow impact rate: 3500</td> <td>Red</td> <td>Red</td> <td>Red</td> <td>Yellow</td> <td>Yellow</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>Red</td> <td>Red</td> <td>Red</td> <td>Yellow</td> <td>Yellow</td> </tr> <tr> <td>Brainstorm - Improvement opportunities</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cell 2 : 07 - Tripod A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Environmental impact rate:</td> <td>Yellow</td> <td>Red</td> <td>Yellow</td> <td>Yellow</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>Cost impact rate:</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>Corporate impact rate:</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> <td>Green</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>Production / flow impact rate: 2000</td> <td>Yellow</td> <td>Red</td> <td>Yellow</td> <td>Yellow</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>Yellow</td> <td>Red</td> <td>Yellow</td> <td>Yellow</td> <td>Red</td> </tr> <tr> <td>Brainstorm - Improvement opportunities</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							1. Electric Energy	2. Metallic wastes	3. Water, machining chemicals and effluents	4. Oils and contaminated oils	5. Contaminated Wastes	Cell 1 : 02 -Shaft - A						Environmental impact rate:	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Cost impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red	Corporate impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red	Production / flow impact rate: 3500	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	TOTAL	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Brainstorm - Improvement opportunities						Cell 2 : 07 - Tripod A						Environmental impact rate:	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red	Cost impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red	Corporate impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red	Production / flow impact rate: 2000	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red	TOTAL	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red	Brainstorm - Improvement opportunities					
	1. Electric Energy	2. Metallic wastes	3. Water, machining chemicals and effluents	4. Oils and contaminated oils	5. Contaminated Wastes																																																																																										
Cell 1 : 02 -Shaft - A																																																																																															
Environmental impact rate:	Red	Red	Red	Yellow	Yellow																																																																																										
Cost impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red																																																																																										
Corporate impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red																																																																																										
Production / flow impact rate: 3500	Red	Red	Red	Yellow	Yellow																																																																																										
TOTAL	Red	Red	Red	Yellow	Yellow																																																																																										
Brainstorm - Improvement opportunities																																																																																															
Cell 2 : 07 - Tripod A																																																																																															
Environmental impact rate:	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red																																																																																										
Cost impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red																																																																																										
Corporate impact rate:	Red	Green	Red	Green	Red																																																																																										
Production / flow impact rate: 2000	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red																																																																																										
TOTAL	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red																																																																																										
Brainstorm - Improvement opportunities																																																																																															

Figure 76: Example of shop floor environmental review developed during the 2nd level flow kaizen

The teams took six hours to accomplish this stage, three in Charqueadas and three in Porto Alegre. Then, on the final day, divided into six teams, each representing one of the five

environmental flows that are being studied, with the objective of reducing cost, waste and consumption of natural resources for different production mass and energy flows (Energy, Metallic Waste, Chemical Products, Hazards Waste, Effluents and Water). After three hours the teams analyzed the actual conditions and, based on the information collected during day one and day two, proposed a new future, and identified improvement opportunities for each one of the mass and energy supporting flows.

The team of managers and specialists put together an action plan for each one of the mass and energy flows studied, with a total of 41 key strategic actions to be implemented, with a potential cost savings of R\$ 2,32 million. The proposed plan was integrated at the site ISO 14001 system (EMS) / Continuous Improvement system. The plan was tracked along the entire year by the site top executives.

The plan was reviewed again by the specialist. From the 41 actions proposed, 2 were cancelled since they were not considered feasible. Namely:

- **Metallic Waste VS:** Changing the tool for producing PF parts;
- **Oils VS:** Changing the oils controlling system.

From 39 actions that were considered viable to be implemented, 8 were implemented along 2012, representing 21% implementation and having direct cost savings of R\$ 1,59 Mi. The actions implemented were:

- **Energy VS:** (1) Changing cold water pumping system; (2) Energy Reactive correction; (3) Implementing of a system for monitoring and control compressed air leakages;
- **Metallic Waste VS:** (4) Changing of cage design and VS;
- **Water / Chemicals VS:** (5) Changing PF lubricant system;
- **Oils VS:** (6) Implementing of internal oil regeneration system – with oil regeneration truck; (7) Implementing a system to re-use AIR oil;
- **Waste VS:** (8) Implement of automatic system for re-use of waste grease.

Also, based on the information collected during the shop floor exercise, the kaizen team proposed a list of cells that should be prioritized for first level flow kaizens since these cells represented a significant use of mass and energy. The group of cells that should be prioritized was, (1) FJ cells, (2) Monobloc cells, (3) Shaft cells, (4) PF cells.

Figures 37 and 38 presents the prioritization matrix developed during the kaizen event. It highlights the Lean and Green kaizens for cells developed in GKN Driveline Brazil from 2008 to 2011 and the proposed kaizens for 2012.

6. Transport	5. Contaminated Wastes	4. Oils and contaminated oils	3. Water, machining chemicals and effluents	2. Metallic wastes	1. Electric Energy			
NA						2011	01 - AIR - Cell A	
NA						2011	02 - AIR - Cell B	
NA						2011	03 - AIR - Cell C	
NA						2011	04 - AIR - Cell D	
NA						2011	05 - AIR - Cell E	
NA						2011	06 - AIR - Cell F	
NA						2011	07 - AIR - Cell G	
NA						2011	08 - AIR - Cell H	
NA						2011	09 - AIR - Cell I	
NA							10 - AIR Turning Cell	
NA							11 - AIR Broaching Cell	
NA							12 - AIR Export Cell	
NA							13 - AIR Final Inspection Cell	
NA						2011	14 - Cage - Cell A1 e A2 Hard	
NA							15 - Cage - Cell B1 e B2 Hard	
NA							16 - Cage - Cell C1 e C2 Hard	
NA							17 - Cage - Cell D1 e D2 Hard	
NA						2011	18 - Cage - Cell A Soft	
NA							19 - Cage - Cell B Soft	
NA							20 - Cage - Cell C Soft	
NA							21 - Cage - Cell D Soft	
NA							22 - Cage - Cell V	
NA							23 - Cage - Turning Cell	
NA						partial	24 - Cage Georg Cell	
NA							25 - Cage Broaching Cell	
NA							26 - Cage Export and Final Inspection Cell	
NA							01 - Assembly - Cell 10	
NA							02 - Assembly - Cell 11	
NA							03 - Assembly - Cell 12	
NA							04 - Assembly - Cell 13	
NA							05 - Assembly - Cell 14	
NA							06 - Assembly - Cell 15	
NA							07 - Assembly - Cell 16	
NA							08 - Assembly - Cell 17	
NA							09 - Assembly - Cell 18	
NA							10 - Assembly - Cell 19	
NA						2010	11 - Assembly - Cell 20	
NA							12 - Assembly - Cell 21	
NA							13 - Assembly - Cell 22	
NA							14 - Assembly - Cell 23	
NA							15 - Assembly - Cell 24	
NA							16 - Assembly Rework Cell	
NA							17 - HytreI Cell	
NA							18 - DVR Cell	

Legend:	Team analysis related to the use of natural resources in the manufacturing cells (environmental impact and cost)
NA	Not applicable
RED	Cell has a high /intensive use of this supporting flow - energy, material or waste generation - High environmental impact and high cost
YELLOW	Cell has an average/medium use of this supporting flow - energy, material or waste generation - Medium environmental impact and medium cost
GREEN	Cell has a low use of this supporting flow - energy, material or waste generation - Low environmental impact and low cost

Figure 77: Part a: Lean and Green cells prioritization matrix

6. Transport	5. Contaminated Wastes	4. Oils and contaminated oils	3. Water, machining chemicals and effluents	2. Metallic wastes	1. Electric Energy			
NA	RED	YELLOW	RED	RED	RED	2012		2 - FJ - Cell A
NA	RED	GREEN	YELLOW	RED	RED			02 - FJ - Cell B
NA	RED	YELLOW	RED	RED	RED		2011	03 - FJ - Cell C
NA	RED	YELLOW	RED	RED	RED	2012		04 - FJ - Cell D
NA	RED	YELLOW	RED	RED	RED			05 - FJ - Cell E
NA	RED	YELLOW	RED	RED	RED			06 - PJ - Cell F
NA	RED	GREEN	YELLOW	RED	RED			07 - FJ - Cell H
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED			08 - FJ - Cell I
NA	RED	RED	RED	RED	RED	2012		01 - AEV Cell
NA	RED	RED	RED	RED	RED	2012		02 - AIV Cell
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED			03 - HSVL Cell
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED		2008	04 - Monobloc - Cell A
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED	2012		05 - Monobloc - Cell B
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED	2012		06 - Monobloc - Cell C
NA	YELLOW	YELLOW	YELLOW	RED	RED		2011	07 - Tripod - Cell A
NA	YELLOW	YELLOW	YELLOW	RED	RED		2011	08 - Tripod - Cell B
NA	YELLOW	YELLOW	YELLOW	RED	RED		2011	09 - Tripod - Cell C
NA	YELLOW	RED	GREEN	YELLOW	RED		2011	10 - Tripod OP 20 and final inspection
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED			11 - Tulip - Cell A
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED			12 - Tulip - Cell B
NA	RED	YELLOW	YELLOW	RED	RED			13 - Tulip - Cell C
NA	YELLOW	GREEN	YELLOW	RED	RED			14 - Tulip Assembly Cell
RED	RED	GREEN	GREEN	RED	RED			01 - Shaft Barr/Tube Cutting Cell
RED	RED	RED	RED	RED	RED		2011	02 - Shaft - Cell A
RED	RED	YELLOW	RED	RED	RED	2012		03 - Shaft - Cell B
RED	RED	RED	RED	RED	RED	2012		04 - Shaft - Cell C
RED	RED	RED	RED	RED	RED			05 - Shaft - Cell D
RED	RED	RED	RED	RED	RED			06 - Shaft - Cell E
RED	RED	RED	RED	RED	RED			07 - Shaft - Cell F
RED	RED	RED	RED	RED	RED			08 - Shaft - Cell G
RED	RED	RED	RED	RED	RED			09 - Shaft - Cell H
RED	RED	RED	RED	RED	RED			10 - Shaft - MTS Cell
RED	RED	RED	RED	RED	RED		partial	01 - PF Cutting Cell
RED	RED	RED	RED	RED	RED		2011	02 - PF - Cell A
RED	RED	RED	RED	RED	RED		2011	03 - PF - Cell B
RED	RED	RED	RED	RED	RED			04 - PF - Cell C
RED	RED	YELLOW	RED	RED	RED		partial	05 - Phosphate Cell
RED	RED	RED	RED	RED	RED			06 - Oil Seizing Cell
Legend:	Team analysis related to the use of natural resources in the manufacturing cells (environmental impact and cost)							
NA	Not applicable							
RED	Cell has a high /intensive use of this supporting flow - energy, material or waste generation - High environmental impact and high cost							
YELLOW	Cell has an average/medium use of this supporting flow - energy, material or waste generation - Medium environmental impact and medium cost							
GREEN	Cell has a low use of this supporting flow - energy, material or waste generation - Low environmental impact and low cost							

Figure 78: Part b: Lean and Green cells prioritization matrix

Based on this prioritization, 10 new 1st level flow kaizens were developed in critical areas such as Monobloc, Shaft, FJ and PF, contributing significantly for overall mass and energy flow reduction. During 2012 these 10 cells kaizens generated direct savings of R\$ 73.840,65. **Figure 39** shows the list of cell kaizens developed along 2012.

KAIZEN'S EVENTS IN 2012 - 1st LEVEL



Figure 79: List of 1st level flow kaizens developed along 2012

Together, the 10 cell kaizens developed during 2011 (roll-out and sister cells) and 10 new kaizens developed saved R\$ 0,923 Mi.

Therefore, both strategies (implementation of 2nd level flow improvement projects and implementation of 1st level flow actions) generated direct savings of R\$ 1,59 Mi plus R\$ 0,923 Mi, totalizing R\$ 2,513 Mi of direct and measurable L&GBM savings for the 2011/2012 period.

In order to confirm these results, a new round of data collection for 2012 period was developed. **Table 31** presents the 2012 data and results for the mass and energy flows of GKN Driveline Brazil manufacturing operations.

Table 68: Data collected for mass and energy flows – 2012 period

	1. Electric Energy	2. Metallic wastes	3. Water, machining chemicals and effluents	4. Oils and contaminated oils	5. Contaminated Wastes
Main supporting flows description:	1. Electric Energy POA and CHQ	1. Metallic Wastes (Chips) 2. Scrap (Piercing, bars, others) 3. Metallic sludge	1. Water 2. Effluents 3. Cooling liquids	1. Oils (for machines, maintenance and protection) 2. Waste oils (POA and CHQ)	1. Contaminated Filter paper 2. Contaminate grease 3. Contaminate boots 4. General contaminated wastes (plastic, paper, others)
E-Flows - Physical Measurement	82.808 Mwh	12.395Ton	1. Water : 114.410 m3 2. Effluents: Shaft: 1.749m ³ Phosphate: 7.820m ³ PF: 1.044m ³ POA: 5.120m ³ 3. Cooling liquids Shaft: 15.900L Phosphate: 39.125L PF: 287.939L POA: 94.710L	1. Oils: 712.127 L 2. Waste oils: 43.760 L	1. Total contaminated waste: 1.080 m ³ + 42.450 pieces of boots
Actual State Cost Results:	R\$20,74Mi	R\$41,52Mi	R\$6,46Mi	R\$3,731Mi	R\$0,95Mi
Environmental Performance Indicators:	1,40 Mhw/Ton	0,209 Ton /Ton	1,937 m ³ water/Ton	12,06 L new oil /Ton	0,017 m ³ /Ton
(e-flow / Tones of parts)			0,15 m ³ effluent POA /Ton		

Figure 40 presents the comparable cost analysis for the mass and energy flows that are being studied.

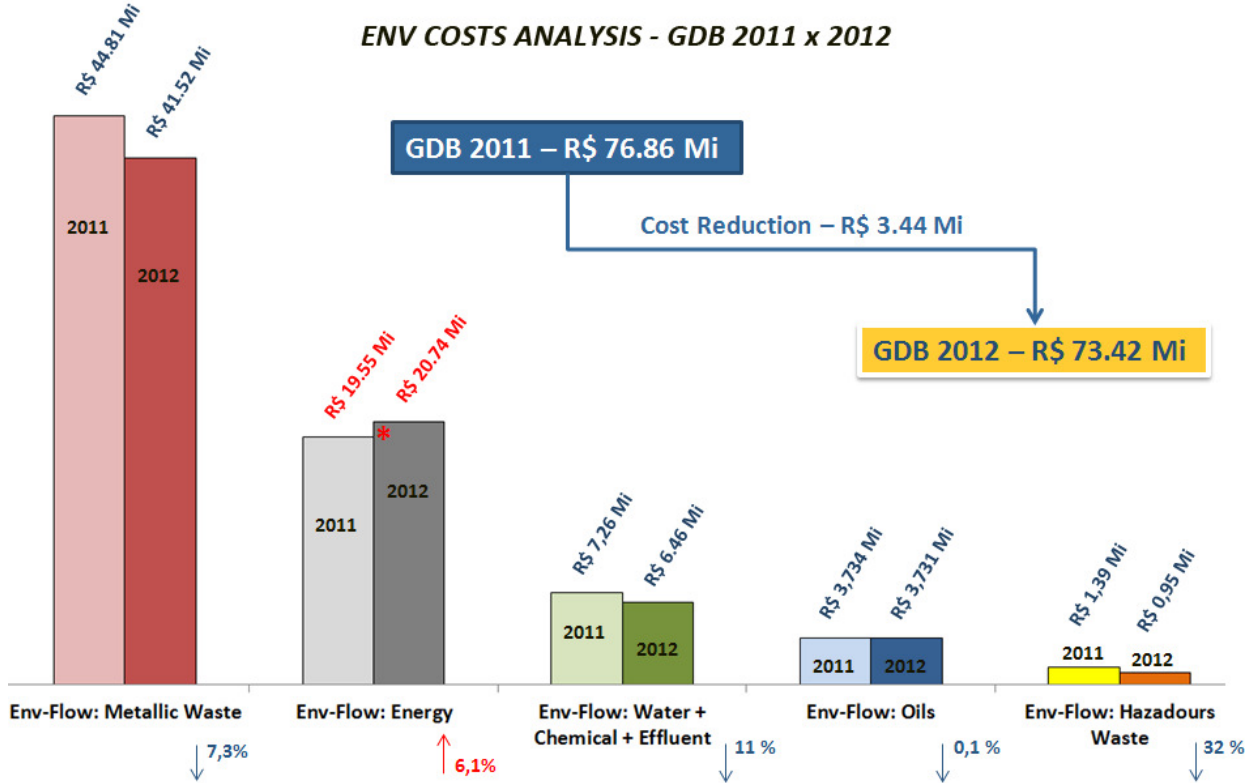


Figure 80: L&GBM for VS – 2011 x 2012 cost analysis

Table 32 presents the comparable results of cost and environmental indicators for 2011 and 2012 periods.

Table 69: L&GBM for VS - Comparable results of Cost and Environmental Indicators

	Energy	Metallic Wastes	Water & Effluents	Oils	Contaminated Wastes
2011 Cost	R\$19,55Mi	R\$44,81Mi	R\$7,26Mi	R\$3,734Mi	R\$1,39Mi
2012 Cost	R\$20,74Mi	R\$41,52Mi	R\$6,46Mi	R\$3,731Mi	R\$0,95Mi
% Improvement	+6,1%	7,3%	11%	0,1%	32%
2011 Environmental Performance	1,506 Mhw/Ton	0,222 Ton /Ton	1,966 m3 water/Ton	12,77 L new oil /Ton	0,028 m3/Ton
2012 Environmental Performance	1,40 Mhw/Ton	0,209 Ton /Ton	1,937 m3 water/Ton	12,06 L new oil /Ton	0,017 m3/Ton
% Improvement	7%	6%	2%	6%	40%

As can be observed in **Figure 40** and **Table 32**, environmental performance improved in all value streams after implementing L&GBM for a VS. Concerning cost, the only worse result was energy but in this case due to significant an increase of energy price rates (more than 20%). In fact, if the performance improvement due to L&GBM application was not made for the energy supporting flow, the result was going to be even worse. All the other four supporting flows, even with increase of price, the consumption reduction was so significant that all four had significant reduction in cost.

With this second round of data collection, a second L&GBM for a VS kaizen was developed in November 2012, following the same structure presented in session 5.7, involving about 30 people, a cross functional team consisting of technical experts and managers. In this new kaizen the results (environmental performance), projects and cost savings were reviewed, lessons learned were raised and evaluated and a new improvement plan was generated for the 2013 period.

The kaizen team proposed a plan of 30 actions to be tracked by top management along 2013, integrated to ISO 14001 system (EMS) / Continuous Improvement system. 19 actions are new actions, identified by the team during the last VS kaizen. 11 actions are originated from the 2011/2012 plan were kept by the team for the 2013 period.

The application of the model also identified the 3 main environmental costs of GKN Driveline Brazil operations which are (1) Metallic, (2) Energy, (3) Water and Chemicals, proving that a preventive approach in terms of improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption) would be a good strategy not only for reducing manufacturing processes environmental impact, but also for improving the operational financial performance.

The model also proves that integrating green with an operational approach can make businesses more competitive. In the case of GKN Driveline Brazil, the lean and green initiative brought direct savings of R\$ 2,513 Mi and indirect non-measurable savings (due the better environmental awareness and use of resources) of 0,927M. It means that GKN Driveline Brazil saved in the period R\$ 3,44Mi, by (1) improving manufacturing processes resources productivity and (2) reducing manufacturing processes environmental impact. In order words it means that the environmental cost was reduced by 4,5% in the period.

Therefore, the L&GBM for a VS confirmed all the objectives planned for this testing, including confirmation of VS prerequisites, the use of the VS kaizens to prioritize lean and green 1st level of flow kaizens, identification of improvement opportunities through team work, proposing a new future state and an action plan, and the idea of integrating L&GBM for VS with the site existing structure (Strategic planning, improvement plans, ISO 14001 System).

The model can be considered a good strategy for (1) improving manufacturing processes resources productivity by optimizing its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation) and for (2) reducing manufacturing processes environmental impact, by reducing all environmental wastes generated by production. A more detailed discussion about the model will be presented in chapter 7.

6.6 APPLYING THE L&GBM TO A CELL IN DIFFERENT MANUFACTURING ENVIRONMENTS

The pilot testing presented in this project related to the full application of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments was planned to be developed in the following operations:

- GKN Aerospace, UK – October, 2010
- GKN Land Systems, USA – May and August , 2011
- GKN Sinter Metals, USA – May, 2010

The sites participated voluntarily. The main objectives of the pilot testing of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments were:

- Confirm if the 5 steps model proposed and structure for the L&GBM for a cell can be applied to any type of manufacturing business;
- Confirm the prerequisites, considering different manufacturing environments;
- Analyze potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model ;
- Review ways of working when applying the model in different business conditions;

The pilot kaizen events were planned to be developed at the end of 2010 and 2011, following the five steps model described in chapter 5. The idea here was that by applying the model in different types of cells, with different levels of lean deployment via cross-functional

kaizen team events ensured that all the team members were fully involved and had the opportunity to contribute their ideas.

Although the initial idea of the pilot testing was to implement the five steps model fully in the three sites, that was not possible. All the three sites presented problems in accomplishing one or more phases of the model, as presented below:

- **Kaizen in Aerospace:** Steps from 1 to 4 were implemented 100%. Step 5 (implementation of the action plan) was not accomplished;
- **Kaizen in Land Systems:** Steps from 1 to 4 were implemented 100%. Steps 5 was implemented partially;
- **Kaizen in Sinter Metals:** Steps 1 and 2 were implemented 100%. Steps 3 to 5 were not developed and therefore they do not have an action plan to be implemented.

Table 33 below presents basic characteristics of the three manufacturing operational cells of GKN where the L&GBM for cell was planned to be tested as well as some kaizen results for Aerospace and Land System sites.

Table 70: Environmental and manufacturing characteristics of the pilot cells where the L&GBM for cell was planned to be tested in GKN, including the application and evaluation cell prerequisites and some results

Manufacturing characteristics	Aerospace	Land Systems	Sinter Metals
Kaizen Date	Oct/10	May/11 and Ago/11	May/11
Location	UK	USA	USA
Nature of operations	Aluminum machining of parts for airplanes	Steel machining and assembly of parts for off-highways vehicles	Heat treatment and sintering processes of parts for industrial application
Main CELL Mass and Energy Flows	Energy Chemicals/oils Aluminum Wastes	Energy Water Chemicals/oils Metallic Wastes General and contaminated wastes	Energy Water Endo gas Metallic Wastes
Actual State Data: Energy and Materials Consumption and Wastes Generation	Energy Consumption: Not evaluated due to difficulties in collecting and analyzing energy data Chemicals/oils Usage: 26 m ³ / month Al Wastes: 35 Ton / month	Data was collected properly but the site did not provide the figures	Not evaluated due to difficulties in collecting environmental data
Analysis of Prerequisites			
Level of Lean	Implementing Level	Implementing Level	Implementing Level
Process stability	Less than 90%	90%	Less than 90%
Application of Employee Involvement Tools	Medium	In place	Medium
Leadership support	Medium	In place	Medium
Environmental awareness	In place	In place	In place
Use of resources	Very High	Medium	High
Structure for data collection	Medium	Medium	Not in place
Total cost of mass and energy flows (R\$ / Year)	R\$ 11.759.400,00 /year	Data not available	Not evaluated
Major impact in the CELL environmental cost	Aluminum Waste 98%	Data not available	Not evaluated
Results of Kaizen event:			
Energy reduction (%)	Not evaluated	5%	Not evaluated
Water reduction (%)	6%	2%	Not evaluated
Chemical products consumption reduction: (%)	10% (oils)	15% (oils)	Not evaluated
Total Waste generation reduction: (%)	2%	7%	Not evaluated

The Land Systems kaizen was implemented partially but the site did not provide the final figures for their achievements. For the other two kaizens, the process will be analyzed

but the implementation results will not be considered, since the action plan in Aerospace was not implemented and the kaizen in Sinter Metals did not even happen.

Following those, it is possible to highlight and conclude the following topics related to the application of the L&GBM for a cell in different business environments:

- **Regarding the confirmation of whether the 5 step-model proposed and structure for the L&GBM for a cell can be applied to any type of manufacturing business:**

Although the application did not succeed 100% in any of the three cases, this was not due to the characteristics of the model itself, which was generic to all the sites in which it was presented, but due to restrictions of the three businesses in accomplishing the model prerequisites.

- **Confirming the prerequisites, considering different manufacturing environments:** The prerequisites were confirmed. All the requirements that were not achieved by the sites became barriers to the model deployment.

- **Analyzing potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model:** The two kaizens developed presented ideas that would represent significant reduction of cost and improvement in the use of mass and energy flows.

- **Reviewing ways of working when applying the model in different business conditions:** The model itself is straight forward and simple to be implemented. One key thing to be taken into consideration when applying the model to other businesses is to make sure that it accomplishes the seven prerequisites 100%.

Therefore, considering these results and the difficulties in implementing the L&GBM in different manufacturing environments, the important thing to highlight is that the accomplishment of the seven prerequisites (stable process, lean deployment level, use of employee involvement tools already in place, leadership support, environmental awareness in place, intensive use of resources and structure for data collection) is key to its success and application of the model. A detailed discussion about this process will be presented in chapter 7.

CHAPTER 7: L&GBM ANALYSIS OF RESULTS

The analysis of the results achieved with the application of the L&GBM presented in this project will be discussed accordingly with the following structure:

- (7.1) Analysis of the findings related to the application of L&GBM in following situations: (1) L&GBM for a cell pilot testing, (2) L&GBM for a cell roll out, (3) L&GBM for sister cells, (4) L&GBM for a value stream, (5) L&GBM for a cell application in different manufacturing environments.
- (7.2) Analysis of findings comparing L&GBM with literature;
- (7.3) L&GBM response to specialists' and academia inputs.

7.1 ANALYSIS OF THE FINDINGS RELATED TO THE APPLICATION OF L&GBM

Table 34 presents some conclusions which the teams had so far related to the results achieved with the application of the L&GBM related to (1) reduction of environmental impact and productivity increase in the use of resources, (2) % of action plan implementation, (3) % of cost reduction (4) total direct cost savings and (5) confirmation of prerequisites. The data used for developing these conclusions are based on the results presented in Chapter 6.

Table 71: L&GBM improvement cycles analysis

L&GBM Analysis	Results in terms of (1) reduction of environmental impact (2) increase the productivity in the use of resources*	% of action plan implementation	% cost reduction in mass & energy	Total direct L&GBM cost savings	Confirmation of the 7 prerequisites
IMPROVEMENT CYCLE 1 Analysis of the application and results of the L&GBM for a cell pilot testing	Monobloc A: 50% Assembly 20: 40%	Monobloc A: 94% Assembly 20: 81%	Monobloc A: 13% Assembly 20: 3%	R\$ 294.000,00	YES
	Shaft A: 50%	Shaft A: 68%	Shaft A: 6,3%		
	Tripod A:40%	Tripod A: 86%	Tripod A:19%		
IMPROVEMENT CYCLE 2 Analysis of the application and results of the L&GBM for a cell roll out	FJ C: 27% PF B: 17% Cage A: 31% PF A: 34% AIR A: 34%	FJ C: 40% PF B: 55% Cage A: 60% PF A: 58% AIR A: 50%	FJ C: 4% PF B: 11% Cage A: 4% PF A: 2% AIR A: 8%	R\$ 839.292,00	YES
IMPROVEMENT CYCLE 3 Analysis of the application and results of the L&GBM for sister cells	Tripod B_C: 31% AIR B_C_D_E: 15% AIR F_G_H_I: 15%	Tripod B_C: 65% AIR B_C_D_E: 14% AIR F_G_H_I: 18%	Tripod B_C: 3,5% AIR B_C_D_E: 0,5% AIR F_G_H_I: 1%	R\$ 57.687,00	YES
	Energy : 7%		Energy : +6,1% (increase in tariffs)		
IMPROVEMENT CYCLE 4 Analysis of the application and results of the L&GBM for a value stream	Metallic Wastes: 6% Water: 2% Oils: 6% Contaminated Wastes: 40%	21%	Metallic Wastes: 7,3% Water: 11% Oils: 0,1% Contaminated Wastes: 32 % Overall mass & energy reduction (2011x2012) : 4,5%	R\$ 1.590.000,00	YES
IMPROVEMENT CYCLE 5 Analysis of the application and results of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments	Aerospace - 6% Land Systems -7% Sinter Metals - Kaizen was not developed	Aerospace - 0% Land Systems –Not informed Sinter Metals - Kaizen was not developed	Aerospace - 0% Land Systems –Not informed Sinter Metals - Kaizen was not developed	Not possible to calculate	YES
*For cell level = Kaizen results / For VS level = Measured results					

Based on what is presented on **Table 34**, what can be concluded so far is that:

- In terms of reduction of environmental impact and productivity increase in the use of resources for the cells that accomplished all the model prerequisites, the application of the L&GBM for a cell is able to reduce the use of resources by 35% in average. For the sisters' cell case, the model is able to reduce by 20% the use of resources. L&GBM for a VS, comparing 2011 with 2012 environmental performance, confirmed VS improvement in terms reduction of environmental impact and increase in the productivity in the use of resources by 12%.
- In terms of cost reduction, with the implementation of average 65% of the improvement plans, the results show a potential of reducing 8% of the total cost with mass and energy flows after applying the L&GBM for a cell. For sisters' cells this result is limited to only 2% of potential cost reduction. For the value stream level, 21% of implementation of the action plan, generated direct cost savings of R\$ 1.590.000,00 and an overall mass and energy reduction (2011 x 2012) of 4,5%. In terms of direct cost savings, these four L&GBM improvement cycles produced alone a total of R\$ 2.780.979,00 in savings.
- In terms of confirmation of model prerequisites, the pilot testing, the roll out of the model for a cell and the application of the model for a cell in other manufacturing businesses confirm the L&GBM for cell prerequisites. The cells that accomplished the seven prerequisites achieved better results. The kaizens developed outside Brazil that failed did not have the right leadership support in place and a good level of lean deployment. Also, neither had a structure for data collection. For L&GBM, the data tells us the story, so pre-work preparation and data collection are key steps and should be developed properly in order to get good results during the kaizen event. Most of the events developed outside Brazil had a lack of resources and structure for developing steps 3 and 4 of the L&GBM for a cell. Therefore, a new prerequisite related to data collection should be introduced to improve the model. The L&GBM prerequisites were also confirmed for the model for sisters' cell and for the value stream level.

Table 35 presents the identification of key findings, model improvement opportunities, as well as the changes developed along the research in order to incorporate the improvement opportunities into the original model for all five improvement cycles.

Table 72: Improvement cycles key finding and improvement opportunities

	KEY FINDINGS AND OBSERVATIONS	IMPROVEMENT OPPORTUNITIES	ACTIONS TAKEN
<p>IMPROVEMENT CYCLE 1 Analysis of the L&GBM for a cell pilot testing</p>	<p>1. Confirming all the prerequisites: Cell is a good starting point for a Lean and Green intervention: Where the things are happening, where people can “touch” the flow of production and can easily see the supporting flows (mass and energy flows);</p> <p>2. Lean stability, deployment level is a good starting point;</p> <p>3. Management support is key: For the developing the kaizen and for the action plan implementation;</p> <p>4. Kaizen approach is successful for environmental improvement: Bottom-up team Effort; Use of employee involvement raised people environmental understanding to a much higher level;</p> <p>5. Lean and Green is an excellent pollution prevention strategy: Capable of reducing by about 10% energy and by about 50% materials and wastes.</p>	<p>1. Involvement of key specialists: Need of accounting involvement – For consolidating the financial results; Need of specific expertise for running the kaizen - facilities, environment, maintenance, engineering should be part of the kaizen teams in order to support the development of ideas;</p> <p>2. Implementation of action plans follow-up strategy: Need to set responsibilities and deadlines within the team before the kaizen is finished in order to have a better deployment of the action plan implementation process; Need to keep communication process after Kaizen is ended;</p> <p>3. Strategy for sister cells: Need to establish strategies for spreading results to other similar cells without losing environmental learning of the kaizen.</p>	<p>1. Definition of a list of key specialist to be involved during the kaizens (accounting, facilities, environment, maintenance, engineering);</p> <p>2. Definition of a strategy for action plan follow-up;</p> <p>3. Creation of the L&GBM for sisters cells;</p> <p>All these ideas were already implemented and tested in the application of the lean and green model (1) roll out, (2) sisters’ cells and (3) testing of the model in different manufacturing environments.</p>
<p>IMPROVEMENT CYCLE 2 Analysis of L&GBM Model for a cell roll out</p>	<p>1. Confirming all the prerequisites: Lean stability and deployment level is key for Lean and Green: Kaizens should not be developed in cells that do not have a deployment level of lean; Development of kaizens in cells that did not present a good level of lean prove the case that this need to be in place in order to start lean and green;</p> <p>2. For first level flow, model is more dependent of lean (change agents) than environmental expertise; Improvement actions are simpler.</p>	<p>1. Definition of Lean and Green expectations – system design: Need to define system design/expectations for Lean and Green - (1) OUTPUT (2) PATHWAY (3) CONNECTIONS (4) SW;</p>	<p>1. It was set the system design (expectations) for L&GBM for a cell;</p> <p>This idea was implemented better results were confirmed along 2012.</p>

(Continues)

(Continuation)

	KEY FINDINGS AND OBSERVATIONS	IMPROVEMENT OPPORTUNITIES	ACTIONS TAKEN
IMPROVEMENT CYCLE 3 Analysis of L&GBM Model for sisters' cells	<p>1. Confirming all the prerequisites of the model;</p> <p>2. It presents worse results - Although it keeps the employee involvement, the idea of developing a less complicated kaizen, with less involvement of experts and less application of resources does not maintain the same level of cost and environmental improvement achieved by the L&GBM for a cell;</p>	<p>1.None</p>	<p>1. Leadership should be aware that a less complicated kaizen may not produce the same cost and environmental results. This model was not applied in any other cell along 2012.</p>
IMPROVEMENT CYCLE 4 Analysis of L&GBM for a value stream	<p>1. Confirming the prerequisites specially related to environmental focus and concern: L&GBM for a value stream environmental focus is higher; L&GBM for a value stream requires a higher level of environmental understanding and competence in order to develop the analysis, the kaizen and set the action plan; Therefore, environmental language needs to be translated to manufacturing; Understanding about what are the key factors is key here;</p> <p>2. At the value stream level, the data tells the story;</p> <p>3. For the value stream analysis, for an environmental perspective, it should be a site based environmental impact and not only the impact of one value stream; There is a conjunction of environmental impacts that can create a system interference changing the overall impact; therefore traditional VSM thinking (divided by product families) is not applicable because it will not consider the overall impact on the surroundings and the combination of environmental effects.</p>	<p>1. Shop floor environmental review strategy for a value stream: Need to create a standard for value stream L&GBM analysis in order to translate environmental language to manufacturing terms;</p>	<p>1. A strategy for Shop floor environmental review for L&GBM for a value stream;</p> <p>This idea was already implemented in 2012.</p>

(Continues)

(Conclusion)

	KEY FINDINGS AND OBSERVATIONS	IMPROVEMENT OPPORTUNITIES	ACTIONS TAKEN
<p>IMPROVEMENT CYCLE 5 Analysis of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments</p>	<p>1. Confirming all the prerequisites: (1) Lean deployment level is critical; (2) Operational stability is a core requirement; (3) Leadership support is critical along all 8 steps of model development. (4) Top down and bottom up required for success;</p> <p>2. Lean and Green should be the continuation of a continuous improvement culture: Should not be seen as a new initiative - should be integrated to the Lean structure in place;</p> <p>3. The involvement of specialists: Finance and other core function support is key.</p>	<p>1. Lack of data collection structure: For Lean and Green the data tells us the story, so pre-work preparation and data collection are key steps and should be developed properly in order to get good results during the kaizen event; Most of the events developed outside Brazil failed due to lack of support, resources, structure for developing steps 3 and 4 of the L&GBM for a Cell.</p>	<p>1. A new prerequisite related to data collection should be introduced in the L&GBM</p> <p>This idea was implemented and tested along 2012. The model presented in chapter 5 considers this new prerequisite.</p>

Therefore, following what was presented in **Tables 34 and 35** the following conclusions can be made so far about the L&GBM application and results:

- Findings that confirm L&GBM objectives (1) reduction of environmental impact, (2) increase the productivity in the use of resources:** As presented in **Table 34**, in terms of reduction of environmental impact and increase the productivity in the use of resources, for the 1st and 2nd levels of flow that accomplished all the model prerequisites, the application of the L&GBM for a cell is able to reduce in average **35%** the use of resources. For the sisters' cell case, the model is able to reduce **20%**. The value stream level, the model is able to reduce **12%** the use of resources.
- Findings that confirm L&GBM potential for cost savings:** As presented in **Table 34**, in terms of cost reduction, the results show a potential of reducing by 2 to 8% of the total cost with mass and energy flows (**8% for cells, 2% for sisters' cell and 4,5% for the value stream level**). In terms of direct cost savings, these four L&GBM improvement cycles produced alone a total of R\$ 2.780.979,00 of savings. Cagno et al. (2005) analyzed cleaner production and profitability based on 134 industrial pollution prevention projects. For the automotive sector, which includes companies such as Chrysler, Ford and General Motors, the average annual savings obtained was

US\$ 318.500/year (around R\$ 636.000,00). This represents only 20% of what may be possible under the L&GBM. Also, traditional lean thinking considers only reduction of the seven classic wastes. With the introduction of the environmental variable concern along the flow of value, L&GBM proves that other sources of wastes may be focused and reduced, thus maximizing the overall savings. As already mentioned in chapter 5, the original logic does not take into consideration the other sources of cost that are part of the manufacturing process, the environmental wastes (materials and energy consumption and wastes generation) and that are not considered in the original Rich's model. Therefore, the L&GBM is built based on Rich's model, adding one extra variable to it capable of promoting manufacturing excellence and cost reduction, the environmental variable.

- **Findings that confirm the prerequisites:** A number of variables must be considered when applying the model. The pilot testing, the rollout of the model and the application to other businesses outside Brazil confirmed the predicted prerequisites. The following attributes should be in place to apply the L&GBM: (i) a stable process, with delivery records over 90%, (ii) a sufficient deployment level in terms of using and applying lean tools, (iii) EI (Employee Involvement) systems in place, (iv) a supportive management team, (v) environmental awareness among the members, (vi) significant use of natural resources and (vii) data collection structure. The cells that fulfilled all prerequisites, including a sufficient deployment level in terms of applying lean tools and a stable process, achieved better results.
- **Improvement opportunities that proposed changes in the prerequisites:** As presented in **Table 35**, following the results of the application of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments, a new prerequisite related to data collection was introduced in the L&GBM in order to cope with what was found after the testing process.
- **Improvement opportunities that proposed general changes in the model and kaizen structure and application:** As presented in **Table 35**, general improvement opportunities were identified after each improvement cycle developed. All of them were already implemented and tested during 2012.

After a full evaluation of these results, it is possible to confirm that the L&GBM is a good and practical example of how lean “ways of working”, based on the kaizen spirit of involving people, can support sustainable manufacturing.

7.2 ANALYSIS OF FINDINGS COMPARING L&GBM WITH LITERATURE

Following the practical results and the model presented in chapter 5, below are summarized the differences in the purposes and principles behind pure green thinking, pure lean thinking and the L&GBM, confirming the difference of the model developed from other approaches and from pure lean and/or pure green practices, such as cleaner production and eco-efficiency:

- **The L&GBM fully integrates lean thinking and green thinking**, merging the fundamental principles of lean (i.e., the five key principles (Womack and Jones, 1998)) and green ((i) improving the use of natural resources and (ii) reducing environmental impact (MOREIRA et al., 2010) philosophies to create a unique, integrated model.
- **The L&GBM introduces a new dimension into traditional lean thinking: environmental concerns.** Traditional lean thinking focuses on four dimensions: safety, quality, delivery and cost (BICHENO, 2000). The L&GBM introduces environmental concerns by requiring (i) the productive use of resources, (ii) a reduction in environmental impact (iii), and environmental awareness along the flow of value.
- **The L&GBM is a model that intends to motivate a conceptual transition:** Prior concepts, such as pure lean and green thinking, are the baggage. While integrating such concepts, L&GBM propose to create a new model where (1) productivity in the use of natural resources (2) impact reduction, (3) environmental awareness, (4) financial savings, (5) people involvement and (6) leadership, originally derived from different sources, are now connected as fundamental blocks of a new way of thinking. As times passes, L&GBM seeks not only the integration of the social, environmental and financial, but also equity, equitable value, importance, and priority for all its vectors, promoting connectedness within and outside the system.

- **L&GBM has its own purpose:** “Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste and environmental impact and the maximum productivity in the use of natural resources”.
- **L&GBM has its own principles:** (1) Identify a stable value stream (level 1, 2 or 3); (2) Identify in the flow of value the environmental aspects and impacts; (3) Measure VS environmental impacts and the use of natural resources; (4) Identify alternatives to (i) impact reduction and (ii) resources productivity in VS; (5) Pursue perfection - Continuous Improvement.
- **L&GBM has its own ways of working:** L&GBM will be integrated as part of the continuous improvement process of a manufacturing process, where the lean philosophy and ways of working are already in place. Following this, the objects of study of the L&GBM are the mass-energy flows of the manufacturing processes and the expected output for model application is the achievement of improvements in these flows (Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy), contributing to improvement of the overall performance.
- **The L&GBM focuses on non-traditional sources of savings.** Traditional lean thinking considers only reductions in the seven classic lean wastes (overproduction, waiting, transporting, inappropriate processing, unnecessary inventory, unnecessary/excess motion and defects). With the introduction of environment concerns along the flow of value, other sources of waste identified while analyzing the supporting flows of production (energy, materials, water, etc) can be targeted and reduced, thereby maximizing overall savings. This idea supports the study of Moreira et al. (2010), which explores other sources of waste, environmental impacts, energy use, materials consumption and emissions to show that environmental waste is hidden within the seven classic production wastes (OHNO, 1988).
- **The L&GB prioritizes manufacturing stability and a focus on the customer.** The first step involves delivering what the customer wants, specifying the customer value and then identifying the value streams, thereby making value flow at the pull of the customer. The L&GBM’s name suggests that it is necessary to be lean *first*. Therefore, a sufficient lean deployment level is key to implementing the L&GBM. This idea supports the study of Dues et al. (2012), which concluded that a lean environment serves as a catalyst to facilitate environmental sustainability.

- **L&GBM thus requires a certain level of manufacturing stability and lean deployment prior to being introduced.** Other environmental practices, such as cleaner production (CAGNO et al., 2005) and eco-efficiency (KORHONE, 2007), do not take these prerequisites into consideration.
- **As with other environmental practices, the L&GBM has the clear objective of improving the use of natural resources and reducing the environmental impact** (MOREIRA et al., 2010). In this case, the difference between the L&GBM and other environmental practices is the approach that the L&GBM adopts to implement environmental practices. Both cleaner production and eco-efficiency focus on analyzing the flow of materials and energy in a company to identify improvement opportunities, such as the use of fewer resources; the minimization of waste, emissions and pollution; and the maximization of product output. Neither cleaner production nor eco-efficiency focuses on manufacturing approaches to manufacturing and value streams (WOMACK and JONES, 1998) to accomplish this objective. The L&GBM identifies and measures environmental aspects and impacts as well as inputs and outputs, based on manufacturing value streams and respecting the real flow of value. Applying the L&GBM makes it easier to coordinate environmental and production performance metrics in a unique and integrated system.
- **The L&GBM focuses on a simultaneous top-down and bottom-up approach for deploying continuous environmental improvements.** All improvement opportunities that are identified by the Lean & Green Model using the Kaizen approach (BERGER, 1997) are directly integrated into continuous improvement of the already existing structure due to lean deployment.

After a full evaluation of these findings, it is possible to demonstrate that the L&GBM is different from green thinking, pure lean thinking and other existing approaches, that is a model that fully integrates lean thinking and green thinking, merging the fundamental principles, introducing a new dimension into traditional lean thinking and motivating conceptual transition between both concepts in a way to achieve sustainability.

7.3 L&GBM RESPONSE TO SPECIALIST'S INPUTS

Chapter 4 presented the research model applied for developing the L&GBM. Defined as action research or participatory action research, in order to put together all the ideas that created L&GBM, the model was successively reviewed in reflective process of problem solving, with the support of global business and academic specialists.

During the seminar phase, presented already in chapter 4, several inputs and questions were raised both by worldwide business/environmental specialists and academia. Now that the L&GBM and its results were already presented, this session is dedicated to reviewing and answering those inputs and some few others that came along the journey.

Table 36 highlights the main questions received from academia.

Table 73: Key questions from academia for the L&GBM

Academia Inputs / Feedback	General questions to improve L&GBM
<p>What are the real differences between pure lean, pure green and the L&GBM ? “That lean thinkers gravitate toward green easier than green thinkers understand lean corresponds with my subjective experience too, but I have no data.” “Nearly (<i>almost</i>) everyone first conceptualizes a new paradigm as a new set of techniques. That has certainly been true of lean. Using the techniques to fully create a new culture of thinking enters consciousness (<i>the state of being awake and aware of one’s surroundings</i>) later. (We’ve pursued lean more in the West for 30 years, but only in the last few years has this aspect of it become a top topic at conferences).³</p>	<p>13. What is the difference between L&GBM and ecoefficiency and cleaner production? 14. Is it possible for a company to become fully green or greener? 15. If lean serves as a catalyst to green, does it work the other way around? Is it easier for green companies to become lean? Are green companies already automatically on the "lean" path?</p>
<p>What are L&GBM prerequisites ?</p>	<p>16. Which are the variables that we need to be aware of when applying such methodology? How they influence its applicability? 17. Limits are missing e.g. is it applicable anywhere? What a potential user need to be aware of when applying the proposed methodology? Which is the future possible development of such a methods?? 18. What are L&GBM fundamental building blocks?</p>

(Continues)

³ HALL, R. Doc’s feedback on the L&GBM. E-mail received in November, 14th, 2012.

(Conclusion)

Academia Inputs / Feedback	General questions to improve L&GBM
<p>What are the L&GBM Dimensions?</p>	<p>19. Lean and Green Prioritizes maximizing value and reducing costs" - How is this different from the pure lean approach? If you argue that it adds an environmental dimension, this characteristic becomes similar to the next one you have listed ("Lean and green introduces into the traditional lean thinking a new dimension - the environmental concern aspect").²</p>
<p>What is the main purpose of L&GBM? Conception and transition.</p> <p>"Two phrases emerging attract people to Compression Thinking: "Do better using much less," or "Live better using much less." These suggest that using far fewer resources helps assure a more sustainable planet on which we may enjoy life a bit, and not just struggle to survive. This sets a goal, which is necessary to <u>motivate action</u>, but devoid (<i>entirely lacking or free from</i>) of content. A guide to taking action requires a more extensive model because we are trying to change <u>habits of thought</u>, and that requires knowledge as well as motivation. To deal with this, one is soon back to dealing with preconceptions. "</p> <p>" I think you the L&GBM is model to motivate <u>conceptual transition</u>. Prior concepts are baggage, some of which must be left behind to get on a train moving down a different track, and some of which can be moved to the new train. This learning process takes time".⁴</p>	<p>20. What are the preconceptions we are trying to change with L&GBM?</p> <p>21. What does it mean to be a model that motivates conceptual transition?</p> <p>22. What is the new paradigm L&GBM is trying to contextualize?</p>
<p>What is the level of leadership that L&GBM requires?</p> <p>"You are trying to attract lean thinkers to also become sustainability thinkers, and reveal (<i>make previously unknown or secret information</i>) known to others) to green thinkers how lean contributes to their purposes. A lean thinker is to extend (make longer or wider) into bigger concepts and a much longer horizon. "</p> <p>"Considerable research outside lean, plus experience with lean shows that changing people's thinking (culture) has to go beyond mental comprehension. Conversion has to change habits of thinking. For instance, in a lean factory, we must learn to observe 5S, work in cells, resolve problems within a PDCA framework, etc. But before we can fully embrace that, we must be confident that our effort will actually result in process improvement -- that we can make a significant difference. And for that, we usually need a different concept of leadership".²</p>	<p>23. How L&GBM is attracting lean thinkers and green thinkers?</p> <p>24. What is the type of leadership for the L&GBM?</p>

⁴ HALL, R. Doc's feedback on the L&GBM. E-mail received in November, 14th, 2012.

As mentioned previously, the main objectives of the seminars were (1) identify the academia inputs for the L&GBM. **Table 36** highlighted the main questions from the academia regarding the L&GBM. **Table 37** presented now below highlights and answers the 20 key questions raised by both global specialists and academia regarding the L&GBM and its application.

Table 74: L&GBM response to specialist's inputs

Source of the input	Main questions	How L&GBM is addressing it?
GKN Global Environmental Specialists	1. Need for management support	Leadership support is the 4 th prerequisite for implementing L&GBM
GKN Global Environmental Specialists	2. Need for resources	Structure in place for data collection is the 7 th for implementing L&GBM. Lean and Green is data dependent: As in many environmental sustainable practices, such as cleaner production, for L&GBM the data tells us the story, so pre-work preparation and data collection are key steps and should be developed properly in order to get good results during the kaizen event
GKN Global Environmental Specialists	3. Need for implementers and experts	For first level flow, L&GBM for a cell is more dependent on lean (change agents) than environmental expertise: Improvement actions are simpler. So, for this case, the already existing lean structure can support this gap. L&GBM for a value stream requires a higher level of environmental understanding and competence in order to develop the analysis, the kaizen and set the action plan. So in this case it will be necessary the support of experts.
GKN Global Environmental Specialists	4. Need to be prioritized	L&GBM has a Lean to Green approach: the application should be the continuation, a second step of a continuous improvement / lean culture already in place. So, from a business perspective it only should be prioritized if the company already reached a certain level in its lean (continuous improvement) journey and is able to accomplish all model prerequisites.
GKN Global Environmental Specialists	5. Technology access	The L&GBM for a cell does not involve major changes in technology. Rather, the model focuses on behavioral and operations efficiency changes (several examples presented in chapter 6). Technology access should be analyzed when expanding the model for second or third level of flow, as shown in session 6.4. The projects that are implemented in the VS level require a higher level of technology and expertise and it may be a barrier depending where the model is implemented.
GKN Global Environmental Specialists	6. Need to deal with worldwide differences	Since the global application of the L&GBM was limited this question could not be answered totally and this is a limitation for this study.
Academia	7. Is a Lean to Green approach better than just going green?	The answer based on the results achieved from all of the tests for this case is positive. In the model it can be translated in the two first prerequisites presented: (1) The cell had a deployment level in applying Lean Tools and (2) a stable process. The results presented showed that the cells that had a deployment level in applying and using lean tools not only achieved better results for improving its mass and energy flows but also were able to implement faster the action plans. In the pilot testing, Monobloc A and Assembly 20 proposed an average reduction of materials and energy usage from 40 to 50% after applying the L&GBM. If we consider the Assembly 20 case, although the cost reduction figures were not very high, the work in a Kaizen approach proposed actions that were able to reduce by 50% the usage of cleaning cloths and by 100% the wasted grease. It represents that Lean to Green is better than just going green. All this means that using an existing manufacturing improvement culture can be an excellent pollution prevention strategy. Respecting the manufacturing ways of working and mind set represented here by the lean thinking culture and use it in favor of the environment can be good strategy for consolidating sustainability concept in the shop floor, where profit, people and planet issues are equally balanced.

(Continues)

(Continuation)

Source of the input	Main questions	How L&GBM is addressing it?
Academia	8. And better than just going lean?	The answer to this question is also positive. Applying L&GBM it was possible not only to improve environmental performance (from 12 to 35% in average) but also to identify and eliminate other sources of wastes that traditional lean thinking does not focus. This extra source of cost reduction represents 2 to 8% reduction of the total cost of mass and energy flows of a manufacturing process.
Academia	9. And better than just going green?	The answer to this question is positive too. Most environmental practices focus on the same objects of study: improving mass and energy flows performance and reducing impact. The difference if compared pure green practices with L&GBM is not what to do but how you do it. Kiperstok (2000) once said: <i>"If cleaner production practices so obviously make a common sense, why do they not occur naturally in industry?"</i> Traditional green practice fight for the same resources, time and space than manufacturing. They want to be prioritized, replacing other continuous improvement initiatives. L&GBM not only explain why to do it, but also creates a space to really do it, merging it in the original manufacturing improvement culture. The result of L&GBM proof to more effective. Comparing L&GBM results with the studies of Cagno et al. (2005), L&GBM is 4 times more effective in terms of cost savings than green practices.
Academia	10. What are the real differences between pure lean, pure green and the L&GBM?	As already discussed in chapter 5: 1. L&GBM prioritizes the customer focus; 2. L&GBM identifies and measures environmental aspects and impacts based on value streams 3. L&GBM focuses on a top-down and bottom-up approach 4. L&GBM prioritizes maximizing value and reducing costs 5. L&GBM introduces into the traditional lean thinking a new dimension - the environmental concern aspect 6. L&GBM focus in other sources of savings
Academia	11. What are L&GBM prerequisites?	1. A stable process, with delivery records over 90%; 2. A mature deployment level in using and applying lean tools; 3. Employee Involvement (EI) systems are in place; 4. A supportive management team; 5. Good level of environmental awareness; 6. Significant use of natural resources; 7. Structure in place for environmental data collection.
Academia	12. What are the L&GBM Dimensions?	L&GBM has 5 dimensions: Safety, Quality, Delivery, Cost and Environment. L&GBM is built based on Rich's model, adding one extra variable to it: Process stability (Safety + Quality + Delivery + Flexibility) + Environment → Cost reduction
Academia	13. What is the main purpose of L&GBM?	The general purpose model can be described as: "Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at a fair price and with minimum waste and environmental impact by delivering the maximum productivity in the use of natural resources". It means that the lean and green thinking will be described in five dimensions, (1) Safety, (2) Quality, (3) Delivery, (4) Cost, (5) Environment. The L&GBM is a model that intends to motivate to a conceptual transition, in a learning process that integrates different pieces of knowledge.

(Continues)

(Continuation)

Source of the input	Main questions	How L&GBM is addressing it?
Academia	<p>14. What is the level of leadership that L&GBM requires?</p> <p>Is it necessary to have in place the right leadership support and employee involvement tools in order to achieve good results with a L&GBM?</p>	<p>A supportive management team. Leadership support is the 4th prerequisite for implementing L&GBM.</p> <p>L&GBM requires a top down and bottom-up approach, so it needs the right level of leadership and people involvement in order to succeed. In the model it was translated in the third and fourth prerequisites: (1) The cell already had Employee Involvement (EI) Systems in place and (2) It had good management support for developing and implementing the Kaizen initiatives. This is the case for the application of the L&GBM outside GKN Brazil. In average, all cells in GKN Brazil were able to implement the improvement opportunities identified during the kaizen. They had the support from their leaders for developing the changes and the right EI tools in place for tracking the implementation. It means that the same behavioral and involvement attitude that is part of the Lean Kaizens is also applicable and valid for an environmental kaizen as well. The kaizens developed outside GKN Brazil failed also due to lack of leadership support in place.</p>
Academia	<p>15. In order to achieve good results is it necessary to be a cell with intensive use of material and energy?</p>	<p>The answer to this is negative. In the model this was attributed to the final prerequisite that the cell needed to have a significant use of resources and waste generation in order to be a case for L&GBM intervention. Assembly 20 did not present this characteristic. It is an assembly Cell, where 75% of its resources usage is the grease that is applicable inside the final product. Although, in terms of cost savings it did not present such impressive results, in terms of pollution prevention the improvement ideas proposed by the employees represented an average of 40% of mass and energy cell consumption. Considering that the main objective for developing a cell environmental kaizen is improving its supporting flows performance (materials and energy consumption and wastes generation) this result can be achieved even in cells where the use of materials is not so intensive. This is also the case for Tripod and AIR cells. They do not have so intense a use of resources but are presenting good results also in reducing mass and energy flows.</p>
Academia	<p>16. The level of environmental improvement depends of a pre-existing condition. How this topic is taken in consideration in the model?</p>	<p>For applying L&GBM it is required for a CELL to have a good level of environmental awareness and for the 2nd level flow that FACTORY is ISO 14001 certified and it is in its 2nd improvement cycle. So minimum level of environmental concern and improvement is required prior to implementation. That is the cut line for implementing the model.</p>

(Continues)

(Conclusion)

Source of the input	Main questions	How L&GBM is addressing it?
Academia	17. Why most of the L&GBM application outside GKN Brazil failed?	<p>The first reason is related to the accomplishment of L&GBM prerequisites: The kaizens that failed did not have the right leadership support in place and a good level of lean deployment. A second reason was also identified: Lack of data collection structure This is a strong premise for any environmental practice and also L&GBM. For L&GBM the data tells us the story, so pre-work preparation and data collection are key steps and should be developed properly in other to get good results during the kaizen event. Most of the events developed outside Brazil had a lack of resources and structure for developing steps 3 and 4 of the Lean and Green Model for a cell. Therefore, a new prerequisite related to data collection should be introduced in the Lean and Green Model.</p>
Academia	18. Since L&GBM outside Brazil failed, is it context specific?	<p>The L&GBM is a generic model, designed to be applied in any manufacturing business that already possesses a stable manufacturing process and a deployment level in applying lean tools.</p> <p>The failure of the application of the model outside does not demonstrate that the model is context specific but that in other to succeed it prerequisites should be observed.</p> <p>L&GBM was compatible with the structure of GKN Aerospace, Land Systems and Sinter Metals. The kaizens in 2 out of 3 cases happened with the same level of enthusiasm and energy as in Brazil.</p> <p>The difficulty here is that these 3 sites did not accomplish all prerequisites, especially regarding a leadership support, so they failed. Brazil, the model site, was able to accomplish all prerequisites, so it was able not only to do good kaizens but also to demonstrate results.</p>
Academia	19. How L&GBM maintain employee involvement after the kaizen?	<p>As described in the prerequisites, L&GBM requires that the CELL that L&GBM will be applied has already Employee Involvement tools in place (operators already know and apply the most common EI tools, such as Daily Meeting, Primary Visual Display, etc.); So, to keep the involvement, the model uses the already existing EI structure to keep the team enthusiasm and employee involvement regarding the topic.</p>
Academia	20. How L&GBM consider the evaluation of environmental changes?	<p>The model presented in this project was applied in two circumstances, cell and value stream level.</p> <p>For the cell level, the model does not involve major changes in technology. Rather, the model focuses on behavioral and operations efficiency changes.</p> <p>For the 2nd level flow, it may require major technology changes. This was not the case for the 8 projects implemented due to the L&GBM implementation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energy VS: (1) Changing cold water pumping system; (2) Energy Reactive correction; (3) Implementing of a system for monitoring and control compressed air leakages; • Metallic Waste VS: (4) Changing of cage design and VS; • Water / Chemicals VS: (5) Changing PF lubricant system; • Oils VS: (6) Implementing of internal oil regeneration system – with oil regeneration truck; (7) Implementing a system to re-use AIR oil; • Waste VS: (8) Implement of automatic system for re-use of waste grease. <p>From the environmental perspective, major technological changes should be analyzed by adopting the LCA to avoid shifting the environmental burden.</p>

Therefore, based on the answers presented in **Table 37** to the 20 questions, which combined inputs from literature, description of the model presented in chapter 5, with the results of its application, presented in chapter 6, it was possible to answer all the specialists' inputs regarding the L&GBM.

CHAPTER 8: CLOSING REMARKS

Learning from the people that make history, for example, Charles Darwin, English naturalist, once said: *“In the long history of humankind (and animal kind, too) those who learned to collaborate and improvise most effectively have prevailed. It is not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent that survives. It is the one that is the most adaptable to change.*

In this sense, one of the main challenges faced by organizations involves building and maintaining a business in an ever-evolving market and entrepreneurial environment. With the growth of social concerns about the environment, new systems and procedures must be incorporated into business operations. As a result, a new function has been integrated into the management function, namely, the environmental function (DARNALLA et al., 2008; NAWROCKA and PARKERA, 2009).

This project has proposed a new model, the L&GBM, where the green concern for environmental sustainability is integrated with lean thinking. The model uses the kaizen approach for addressing and improving mass and energy flows in a manufacturing environment that already possesses a specified lean deployment level. The L&GBM was developed to investigate the potential benefits of integrating green and lean thinking for both the environment and businesses in terms of waste reduction, operational performance and employee commitment. Based on this, this research project focused on answering the following research questions:

1. Can lean manufacturing practices be adapted and used as a strategy to achieve business environmental sustainability?
2. What are the fundamental building blocks from the order environmental sustainable practices that should be integrated to the lean manufacturing concepts in order to support business strategies to achieve sustainability?
3. Why an integrated approach is different from traditional lean thinking and environmental / green practices alone?
4. How can lean and sustainability concepts be integrated fully and put into practice in a manufacturing environment?

For answering question one and two, the L&GBM, aiming to (a) reduce environmental impact and (b) increase the productivity in the use of resources and observe

the manufacturing structure, production flows and lean fundamental building blocks were developed and presented in chapter 5. For answering question three, a discussion about differences between L&GBM and other approaches was presented in chapter 5 and reviewed in chapter 7. Also, as presented in chapters 4 and 7, according to global environmental specialists and academia, 20 questions were discussed regarding the application of the L&GBM. For answering question four, the model developed was tested in several different circumstances: (1) pilot testing in two cells, (2) cell roll out in seven cells, (3) application for sister cells, (4) application for a value stream, (5) application in different manufacturing environments. Chapter 6 presents the main results achieved so far with the application of the model.

L&GBM was created for integrating lean thinking and green thinking, merging the fundamental principles of lean and green to create a unique, integrated model. It introduces a new dimension into traditional lean thinking, the environmental concerns, motivating a conceptual transition. Prior concepts, such as pure lean and green thinking, are the baggage. While integrating such concepts, L&GBM creates a new model derived from different sources, connecting fundamental blocks of a new way of thinking. As times passes, L&GBM seeks not only the integration of the social, environmental and financial, but also equity, equitable value, importance, and priority for all its vectors, promoting connectedness within and outside the system.

L&GBM presents its own purpose: **“Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste and environmental impact and the maximum productivity in the use of natural resources”**. L&GBM has also its own principles: **(1) Identify a stable value stream (level 1, 2 or 3); (2) Identify in the flow of value the environmental aspects and impacts; (3) Measure VS environmental impacts and the use of natural resources; (4) Identify alternatives to (1) impact reduction and (2) resources productivity in VS; (5) Pursue perfection - Continuous Improvement**. As with other environmental practices, the L&GBM has the clear objective of improving the use of natural resources and reducing the environmental impact.

The idea of applying L&GBM is that it will be integrated as part of the continuous improvement process of a manufacturing process, where the lean philosophy and ways of working were already in place. Following this, the objects of study of the L&GBM are the mass-energy flows of the manufacturing processes and the expected output for model

application is the achievement of improvements in these thermodynamic flows (Materials, Chemicals, Water, Waste, Effluent, Energy), contributing to improvement of the overall performance. Because of this approach, L&GBM focuses on non-traditional sources of savings. Traditional lean thinking considers only reductions in the seven classic lean wastes (overproduction, waiting, transporting, inappropriate processing, unnecessary inventory, unnecessary/excess motion and defects). With the introduction of environment concerns along the flow of value, other sources of waste can be targeted and reduced, thereby maximizing overall savings. The L&GBM identifies and measures environmental aspects and impacts as well as inputs and outputs, based on manufacturing value streams and respecting the real flow of value. Applying the L&GBM makes it easier to coordinate environmental and production performance metrics in a unique and integrated system. Also, it focuses on a simultaneous top-down and bottom-up approach for deploying continuous environmental improvements. All improvement opportunities that are identified by the L&GBM using the kaizen approach are directly integrated into continuous improvement of the already existing structure due to lean deployment. Prior to applying the proposed methodology, we identified seven prerequisites for implementing the L&GBM: **(i) a stable process, with delivery records over 90%, (ii) a sufficient deployment level in terms of using and applying lean tools, (iii) EI systems in place, (iv) a supportive management team, (v) environmental awareness and (vi) significant use of natural resources (vii) structure for data collection.**

The model presented in this research was designed to be applied at the three levels of flow. Perhaps this study only presents results of its application to the cell level, which is the first-value stream level of a manufacturing business that supports the principles of lean thinking and the second-level flow (i.e., the factory). This study can be expanded to the other value stream levels, including the third-level flow, or extended value stream, level (i.e., multiple factories or the supply chain). These extensions will be the subject of future studies.

The model was tested in cells and 2nd level of flow of a global manufacturing engineering company with different levels of lean deployment and environmental impacts. The model used a cross-functional kaizen team event to ensure that all team members were fully involved and had the opportunity to contribute their ideas.

Summarizing the practical findings presented in this project, the following conclusions about the L&GBM can be presented, highlighting its contribution to practice:

- **L&GBM is a good pollution prevention strategy, reducing from 12 to 35% mass and energy flows:** L&GBM for a cell is able to reduce in average **35%** the use of resources. For the sisters' cell case, the model is able to reduce **20%**. The value stream level, the model is able to reduce **12%** the use of resources.
- **L&GBM can be used to reduce costs:** It is possible to reduce operational manufacturing mass and energy flow costs by 2 to 8% (**8% for cells, 2% for sisters' cell and 4,5% for the value stream level**). In terms of direct cost savings, these four L&GBM improvement cycles produced alone a total of R\$ 2.780.979,00 of savings. This result is four times higher than traditional green practices (CAGNO et al., 2005).
- **Confirmation of all prerequisites of L&GBM:** (1) Lean deployment level is critical; (2) Operational stability is a core requirement; (3) Leadership support is critical along all 5 steps of model development; (4) Top down and bottom up approach required for success; (5) Environmental awareness and (6) use of resources are important topics to prioritize where to start; (7) Data collection structure is key for deploying the model. A variety of variables must be considered when applying the model. The pilot testing, the rollout of the model and the application in other businesses outside Brazil confirmed the predicted prerequisites. The cells that fulfilled all prerequisites, including a sufficient deployment level in terms of applying lean tools and a stable process, achieved better results.
- **L&GBM is data dependent.** As in many environmental practices, such as cleaner production, in the L&GBM, the data "tell the story," as the saying goes. Therefore, pre-work preparation and data collection are key steps in implementation and should be deployed properly to obtain good results during the Kaizen event. Following the results of the application of the L&GBM for a cell in different manufacturing environments, a new prerequisite related to data collection was introduced in the L&GBM in order to cope with what was found after the testing process.
- **L&GBM application for 1st and 2nd levels of flow have different approaches:** For first level flow, L&GBM for a cell is more dependent of lean (change agents) than environmental expertise, improvement actions are simpler. L&GBM for a value stream environmental focus is higher. It requires a higher level of environmental understanding and competence in order to develop the analysis, the kaizen and set the action plan.

- **Traditional VSM thinking (divided by product families) is not applicable to the L&GBM:** For the value stream analysis, for an environmental perspective, it should be a site based environmental impact and not only the impact of one value stream; there is a conjunction of environmental impacts that can create a system interference changing the overall impact; therefore traditional VSM thinking (divide by product families) is not applicable because it will not consider the overall impact in the surroundings and the combination of environmental effects.

As discussed above, the model proposed here is different from other hybrid approaches, and it is also distinct from pure lean and/or pure green practices, such as cleaner production and eco-efficiency, due to several characteristics. **The following theoretical conclusions can be generalized about the L&GBM, highlighting its contribution to knowledge:**

- **L&GBM introduces a new dimension into traditional lean thinking, the environmental concerns, motivating a conceptual transition.**
- **L&GBM fully integrates lean thinking and green thinking,** merging the fundamental principles of lean and green thinking to create a unique, integrated model.
- **L&GBM embraces a Lean-to-Green approach.** The implementation of the L&GBM should be a continuation of, or a second step to, continuous improvement where a lean culture is already in place.
- **L&GBM focuses on non-traditional sources of savings.** Traditional lean thinking considers only reductions in the seven classic lean wastes. With the introduction of environmental concerns along the flow of value, other sources of waste can be targeted and reduced, maximizing overall savings.
- **L&GBM prioritizes manufacturing stability and customer focus.** It is called the Lean & Green Business Model because it is necessary to be lean first.
- **L&GBM requires a sufficient level of manufacturing stability and lean deployment prior to its introduction.** Other environmental practices, such as cleaner production and eco-efficiency, do not have this prerequisite.
- **L&GBM identifies and measures environmental aspects and impacts as well as inputs and outputs, based on manufacturing value streams and the real flow of**

value. Neither cleaner production nor eco-efficiency focuses on manufacturing approaches to production and value streams to accomplish their objectives.

- **L&GBM focuses on a simultaneous top-down and bottom-up approach** for deploying continuous environmental improvements that are integrated into the continuous improvement structure of the existing lean deployment.

Based on the results presented, the L&GBM shows that environmentally sustainable practices can be treated as an extension of lean philosophy. Sustainability means “meeting the needs of current generations without compromising the ability of future generations to meet their needs in turn”. The three fundamental social, environmental and financial impacts (or People, Planet and Profit) have evolved to redefine business objectives according to the original Brundtland philosophy (World Commission on Environment and Development, 1987). Thus, lean thinking leads us toward sustainability initiatives. Because lean thinking addresses economic sustainability, it is understood that the original concept can be expanded to achieve a much broader objective.

Environmental sustainability, like lean thinking, has a good track record of improving business finances because of the emphasis on eliminating waste. Extensive opportunities exist to save resources and money on the shop floor. This research applies the L&GBM using kaizen exercises that draw on operators’ and leaders’ ideas and experience as well as appropriate lean tools and techniques for identifying waste. This model can generate 8% in operational cost improvement. In a world of uncertainty about the economy and the environment, the L&GBM demonstrates a new and innovative approach to support the development of sustainable business.

8.1 SUGGESTIONS TO FUTURE RESEARCH

The proposal of future research includes the development of the following themes:

- i. Apply L&GBM for a cell in other manufacturing businesses (other GKN businesses and also outside GKN) that possess a good deployment level of lean;
- ii. Apply L&GBM for a VS in other manufacturing businesses (other GKN business and also outside GKN) to identify potential benefits in terms of environmental impact and cost reduction;
- iii. Apply L&GBM for 3rd level flow – extended value stream – in GKN Driveline Brazil;

REFERENCIAS / REFERENCES

ATKINSON, R. New models of pollution prevention technical assistance. **Journal of Cleaner Production**. V. 2, n. 2, p. 101-106, 1994.

BAAS, L. Cleaner production: beyond projects. **Journal of Cleaner Production**, V. 3, n. 1-2, p. 55-59, 1995.

BAAS, L. To make zero emissions technologies and strategies become a reality, the lessons learned of cleaner production dissemination have to be known. **Journal of Cleaner Production**., V. 15, n. 13-14, p. 1205-1216, 2007.

BALDWIN, J.; ALLEN, P.; WINDER, B.; RIDGWAY, K. Modeling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development. **Journal of Cleaner Production**. V. 13, n. 9, p. 887-902, 2005.

BHASIN, S.; BURCHER, P. Lean viewed as a philosophy. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 17, 1, 56-72. 2006.

BERGER, A. Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs. **Integrated Manufacturing Systems**, V. 8, n. 2, p. 110–117, 1997.

BERKEL, C. Comparative evaluation of cleaner production working methods. **Journal of Cleaner Production**. V. 2, n. 3-4, p. 139-152, 1994.

BICHENO, J. **The Lean Toolbox**. Second edition. Buckingham, UK: PICSIE Books, 2000. 293p.

BIGGS, C. **Exploration of the integration of Lean and environmental improvement**. 2009. 391 pages. PhD Thesis . Doctor in Environmental Sciences. School of Applied Science, Cranfield University, 2009. 420p.

BOONS, F.; SPEKKINK, W.; MOUZAKITIS, Y. The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**. V. 19, n. 9-10, p. 905-91, 2011.

BOYLE, C. Cleaner Production Workshops. **Journal of Cleaner Production**. V. 7, n. 1, p. 83-87, 1999.

BRYMAN, A; BELL, E. **Business Research Methods**. Oxford: Oxford University Press, 2007. 785p.

BURKE, P. **Hibridismo Cultural**. Translation of Leila Souza Mendes. São Leopoldo: Unisinos, 2006. 116p.

CAGNO, E.; TRUCCO, P.; TARDINI, L. Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports. **Journal of Cleaner Production**. V. 13, n 6, p. 593-605, 2005.

CALIA, R.; GUERRINI, F.; CASTRO, R. The impact of Six Sigma in the performance of a Pollution Prevention program. **Journal of Cleaner Production**. V. 17, n. 15, p. 1303-1310, 2009.

CAPRA, F. **A Teia da Vida “The Web of Life”**. Translation of Newton Roberval Eicheberg. São Paulo: Cultrix, 1996. 256p.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. Translation of Claudia Sant’Ana Martins. São Paulo: Gaia, 2010. 327p.

CHERTOW, M. R. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**. V. 25, p. 313-337, 2000.

COBERT, C.; KLASSEN, R. Extending the horizons: Environmental Excellence as key to improving operations. **Manufacturing and Service Operations Management**. V. 8, n. 1, p. 5-22, 2006.

DARNALLA, N.; HENRIQUEST, I.; SADORSKYB, P. Do environmental management systems improve business performance in an international setting? **Journal of International Management**. V. 14, n. 4, p. 364-376, 2008.

DEIF, A. A system model for green manufacturing. **Journal of Cleaner Production**. V. 19, n. 14, p. 1553-1559, 2011.

DESPEISSE, M.; BALL, P.D.; EVANS, S.; LEVERS, A. Industrial Ecology at factory level – a conceptual model. **Journal of Cleaner Production**. V. 31, p. 20-30, 2012.

DIEHL, J.; BREZET, H. Design for Sustainability: an approach for international development, transference and local implementation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE UNIVERSITIES – EMSU 2004, 3rd edition, 2004, Monterrey. **EMSU2004: Proceedings of Environmental Management for Sustainable Universities (EMSU)**. Monterrey: Colonia Tecnológico Monterrey, 2004. p. s/n.

DIELEMAN, H.; HUISINGH, D. Games by which to learn and teach about sustainable development: exploring the relevance of games and experiential learning for sustainability. **Journal of Cleaner Production**. V. 14, n. 9-11, p. 837-847, 2006.

DUES, C.; TAN, K.; LIM, M. Green as the new Lean: How to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain, **Journal of Cleaner Production**, Vol. 1, pp 1-8, 2012.

ELKINGTON, J. Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business. **Environmental Quality Management**. V. 8, n.1, p. 37-51, 1998.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **The Lean and Environment Toolkit**. 2006. p. 1-61. Available at: <www.epa.gov/Lean>. Accessed on: 17 Dec 2012.

FLORIDA, R. Lean and Green: The move to environmentally conscious manufacturing. **California Business review**. V. 39, n. 1, p. 80-105, 1996.

FRESNER, J. Starting continuous improvement with a cleaner production assessment in an Austrian textile mill. **Journal of Cleaner Production**. V. 6, n. 2, p. 85-91, 1998.

FOUND, P. Lean and low environmental impact manufacturing. In: POMS 2009 - 20th Annual Conference of the Production and Operations Management Society, 20th, 2009, Orlando. **Proceedings of POM 2009**. Orlando: Production and Operations Management Society, 2009. P. 126-130.

GAVRONSKI, I.; KLASSEN, R.; VACHON, S.; NASCIMENTO, L. A learning and knowledge approach to sustainable operations. **Int. J. Production Economics**. V. 140, p. 183-192, 2012.

GAVRONSKI, I.; PAIVA, E.; TEIXEIRA, R.; ANDRADE, M. ISO 14001 certified plants in Brazil – Taxonomy and practices. **Journal of Cleaner Production**. V. 39, p. 32-41, 2013.

GIL, A. **Estudo de Caso**: fundamentação científica, subsídios para coleta de dados, como redigir o relatório. São Paulo: Atlas, 2009. 148p.

GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**. V. 15, n. 18, p. 1875-1885, 2007.

GORDON, P. **Lean and Green – Profit for your workplace and environment**. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2001. 218p.

GUNASEKARAN, A.; SPALANZANI, A. Sustainability of manufacturing and services: Investigation for research and applications. **Int. J. Production Economics**. V. 140, p. 35-47, 2012.

GUSTASHAW, D.; HALL, R. From Lean to Green: Interface, Inc. **Association for Manufacturing Excellence's Target Magazine**. V. 24, n. 5, p. 6-14, 2008.

HAES, H. Applications of life cycle assessment: expectations, drawbacks and perspectives. **Journal of Cleaner Production**. V. 1, n. 3-4, p. 131-137, 1993.

HAJMOHAMMAD, S.; VACHON, S.; KLASSEN, R.; GAVRONSKI, I. Lean Management and supply chain management: their role in green practices and performance. **Journal of Cleaner Production**. V. 39, p. 312-320, 2013.

HALL, R. **Compression: Meeting the Challenges of Sustainability through Vigorous Learning Enterprises**. Boca Raton : CRC Press, 2010. 268p.

HALL R. Compression Thinking. IN: LERC Annual Conference 2011. 10th edition, 2011, Cardiff. **Proceedings LERC Annual Conference 2011**. Cardiff: Cardiff University, 2011, p. 13-28.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. **Natural Capitalism: Creating the new industrial revolution**. Boston: Little Brown & Company, 1999. 396p.

HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, V. 24, n. 10, p. 994 – 1011, 2004.

HINO, S.. **O pensamento Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 343p.

HÖJER, M. et al. Scenarios in selected tools for environmental systems analysis. **Journal of Cleaner Production**. V. 16, n. 18, p. 1958-1970, 2008.

HOPP, W.; SPERARMAN, M. **Factory Physics**. McGraw-Hill, Irwin: International Edition, 2008. 720p.

HUI, J.; CHAN, A.; PUN, K. A study of the Environmental Management System implementation practices. **Journal of Cleaner Production**. V.9, n.3, p. 269-276, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14031:1** Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines. Genebra, 1999. 32p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION . **ISO 14001**: Environmental management systems – Requirements with guidance for use. Genebra, 2004. 23p.

JABBOUR, C.; SILVA, E.; PAIVA, E.; SANTOS, F. Environmental Management in Brazil: is it a completely competitive priority ? **Journal of Cleaner Production**. V. 21, p.11-22, 2012.

JASCH, C. Environmental Performance Evaluation and Indicators. **Journal of Cleaner Production**. V. 8, n. 1, p. 79-88, 2000.

KAINUMA, Y.; TAWARA, N. A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management. **Int. J. Production Economics**. V. 101, p. 99-108, 2006.

KAKU, R. The path of Kyosei. **Harvard Business Review**. V. 75, n. 4, p. 55-63, 1997.

KARIM, A.; ZAMAN, K. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. **Business Process Management**, v. 19, n. 1, p. 169-196. 2013.

KING, A. A.; LENOX, M. J. Lean and Green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. **Production and Operations Management**. V. 10, n. 3, p. 244–256, 2001.

KIPERSTOK, A (Org.). **Prata da casa: Construindo Produção Limpa na Bahia**. Salvador: Santa Bárbara, 2008. 446p.

KIPERTOCK, A. Implementation of cleaner production practices with the support of a diploma course. **Journal of Cleaner Production**. V. 8, p. 375-379, 2000.

KORHONE, J. From Material Flow Analysis to Material Flow Management': strategic sustainability management on a principle level. **Journal of Cleaner Production**. V. 15, n. 17, p. 1585-1595, 2007.

KUMAR, R. **Research Methodology**. London: Sage, 2005. 332p.

KURDVE, M.; ROMVALL, K.; BELLGRAN, M., TORSTENSSON, E. A systematic approach for identifying lean and green improvements related to packaging material in assembly. In: Swedish Production Symposium, SPS11, 2011, **Proceedings of SPS11**. Sweden: Lund University, 2011. p. s/n.

LENZEN, M. Sustainable island businesses: a case study of Norfolk Island. **Journal of Cleaner Production**. V. 16, n. 18, p. 2018-2035, 2008.

LOVELOCK, J. E. Hands up for the Gaia hypothesis. **Nature**. Vol. 344, n. 6262, p. 100-102, 1990.

LOZANO, R. Developing collaborative and sustainable organizations. **Journal of Cleaner Production**. V.16, n. 4, p. 499-450, 2008a.

LOZANO, R. Envisioning sustainability three-dimensionally. **Journal of Cleaner Production**. V. 16, n.17, p. 1838-1846, 2008b.

LOZANO, R. Towards a better understanding of sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, V. 25, p. 14-26, 2012.

MAXWELL, J.; ROTHENBERG, S.; SCHENCK., B. **Does Lean Mean Green? The Implications of Lean Production for the Environmental Management**. MIT Working Paper, 1993.

MAZUR, L.; MILES, L. **Conversa com os mestres da sustentabilidade**. São Paulo: Gente, 2010. 298p.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L; RANDERS, J.; BEHRENS, W. **The Limits to Growth**. New York: Universe Books, 1972. 420p.

MORAES, C.; KIELING, A.; CAETANO, M.; GOMES, L. Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice hush ash in mortar coating. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 54, p. 1170-1176, 2010.

MOREIRA, F.; ALVES, A.; SOUSA, R. Towards Eco-efficient Lean Production Systems. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**. V. 322, p. 100-108, 2010.

NAWROCKA, D.; BRORSON, T.; LINDHQVIST, T. ISO 14001 in environmental supply chain practices. **Journal of Cleaner Production**. V. 17, p. 1435-1443, 2009.

NAWROCKA, D.; PARKERA, T. Finding the connection: Environmental management systems and environmental performance. **Journal of Cleaner Production**. V. 17, n. 4, p. 447-454, 2009.

NIELSEN, S. What has modern ecosystem theory to offer to cleaner production, industrial ecology and society? The views of an ecologist. **Journal of Cleaner Production**. V. 15, n. 17, p. 1639-1653, 2007.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Oregon: Productivity Press, 1988. 149p.

OSBORN, A. F. **Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving**. New York: Charles Scribner's Sons, 1963. 417p.

PAMPANELLI, A.; FOUND, P.; BERNARDES, A. A lean and green Kaizen model. In: POM 2011 – Annual Conference of the Production and Operations Management Society, 22nd, 2011, Reno. **Proceedings of POM 2011**. Reno: Production and Operations Management Society, 2011a. p. 22 – 45.

PAMPANELLI, A., FOUND, P., BERNARDES, A. Modelo Lean & Green da GKN: Criando a base global o desenvolvimento de um negócio sustentável In: VI Seminário Internacional sobre Produção Mais Limpa. **Proceedings of P+L 2011**. UFRGS, Porto Alegre, 2011b.

PAMPANELLI, A. How Lean and Sustainability concepts can be integrated and put into practice in a manufacturing environment? IN: LERC Annual Conference 2011. **Proceedings LERC Annual Conference 2011**. 10th edition, 2011, Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK, 2011a, p. 30-42.

PAMPANELLI, A. GKN Lean & Green Kaizen Model for a production cell sustainability IN: LERC Annual Conference 2011 – Post Conference Workshop. **Proceedings Post Conference Workshop**. 10th edition, 2011b, Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK, 2011b, p. 32-49.

PERRON, G. M.; CÔTE, R. P.; DUFFY, J. F. Improving environmental awareness training in business. **Journal of Cleaner Production**. V. 14, n. 6-7, p. 551-562, 2006.

PETTERSEN, J. Defining lean production: some conceptual and practical issues. **The Total Quality Management Journal**, v. 21, n. 2, p. 127-142, 2009.

POLLITT, D. Culture change makes Crusader fit for the future: training in lean manufacturing helps to transform company. **Human Resource Management International Digest**, 14, 2, 11-14. 2006.

PORTER, M.; van der LINDE, C. Toward a new conception of environmental competitive relationship. **The Journal of Economic Perspectives**. V. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

REMMEN, A.; LORENTZEN, B. Employee participation and cleaner technology: learning processes in environmental teams. **Journal of Cleaner Production**. V. 8, n. 5, p. 365-373, 2000.

RICH, N.; BATEMAN, N.; ESAIN, A.; MASSEY, L.; SAMUEL, D. Understanding the lean journey. In: **Evolution of Lean: Lessons from the Workplace**. Cambridge: Cambridge Press, 2006. p. 11-31. 211p.

ROBÈRT, K. H. Strategic sustainable development: selection, design and synergies of applied tools. **Journal of Cleaner Production**. V. 10, n. 3, p. 197-214, 2002a.

ROBÈRT, K. H. **The Natural Step Story. Seeding a Quiet Revolution**. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2002b.

RONDINELLI, D.; VASTAG, G. Panacea, common sense, or just a label: The value of ISO 14001 environmental management systems. **European Management Journal**. V. 18, n. 5, p. 499-510, 2000.

ROTHENBERG, S. Lean, Green and the quest for superior environmental performance. **Production and Operations Management**. V. 10, n. 3, p. 228-243, 2001.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See**. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2003. 99p.

SALLEH, N. A. M.; KASOLANG, S.; JAFFAR A.. Green lean total quality information management in Malaysian automotive companies. **Procedia Engineering**. V. 41, p. 1708-1713, 2012.

SAURIN, T.; FERREIRA, C. The impact of lean working conditions: A case study of a harvester assembly line in Brazil. **International Journal of Industrial Ergonomics**. V. 39, p. 403-412, 2009.

SCHMIDHEINY, S. **Changing course: A global business perspective on development and the environment**. Cambridge, MA: MIT Press, 1992. 375p.

SCHRETTLE, S.; HINZ, A.; SCHERRER-RATHJE, M.; FRIEDLI, T. Turning sustainability into action: Explaining firms' sustainability efforts and their impact in performance. **Int. J. Production Economics**. In press, 2013.

SILVA, P.; AMARAL, F. An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes. **Journal of Cleaner Production**. V. 17, n. 15, p. 1339-1350, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. London: Prentice Hall, 2004. 725p.

STERN, N. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. 645p.

STONE, L. When case studies are not enough: the influence of corporate culture and employee attitudes on the success of cleaner production initiatives. **Journal of Cleaner Production**. V. 8, n. 5, p. 353-359, 2000.

STONE, L. Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents I. Achieving commitment and on-going improvement. **Journal of Cleaner Production**. V. 14, n. 1, p. 1-14, 2006a.

STONE, L. Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents. II. Leadership, support, communication, involvement and programme design. **Journal of Cleaner Production**. V. 14, n. 1, p. 15-30, 2006 b.

TIBBS, H. Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry. **Whole Earth Review**. N. 77, p. 4-19, 1992.

UNRUH, G. C. The Biosphere Rules. **Harvard Business Review**. V. 86, n. 2, p. 111-117, 2008.

VAIS, A.; MIRON, V.; PEDERSEN, M; FOLKE, J. Lean and Green at a Romanian secondary tissue paper and board mill - putting theory into practice. **Resources, Conservation and Recycling**, V. 46, n. 1, p. 44-74, 2006.

VENSELAAR, J. Environmental training: industrial needs. **Journal of Cleaner Production**. V. 3, n. 1-2, p. 9-12, 1995.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROSS, D. **The machine that changed the world**. New York: Free Press, 1990. 342p.

WOMACK, J.; JONES, D. **Lean Thinking**. New York: Free Press, 1998. 408p.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Ecoefficiency: creating more value with less impact**. WBCSD: Agosto, 2000.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987. Available at: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Accessed on: 17 Dec 2012.

XUE, H.; KUMAR, V.; SUTHERLAND, J. Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input-output models. **Journal of Cleaner Production**. V. 15, n. 13-14, p. 1349-1358, 2007.

YANG, M.; HONG, P.; MODI, S. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. **Int. J. Production Economics**. V. 129, p. 251-261, 2011.

ZOKAEI, K.; MARTINEZ, F.; VAZQUEZ, D.; EVANS, B.; SARMADI, K.; PEATTIE, K.; PAMPANELLI, A.; HINES, P.; TRIVEDI, N. **Best Practice Tools and Techniques for Carbon Reduction and Climate Change: Lean and Green Report**. Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University, p. 12-92, 2010.

ZWETSLOOT, G. Improving cleaner production by integration into the management of quality, environment and working conditions. **Journal of Cleaner Production**. V. 3, n. 1-2, p. 61-66, 1995.

ZWETSLOOT., G.; GEYER, A. The essential elements for successful cleaner production programmes. **Journal of Cleaner Production**. V. 4, n. 1, p. 29-39, 1996.

APENDICE 1 – ARTIGO “A LEAN & GREEN MODEL FOR A PRODUCTION CELL”

APPENDIX 1 – ARTICLE “A LEAN & GREEN MODEL FOR A PRODUCTION CELL”

Journal of Cleaner Production xxx (2013) 1–12



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



A Lean & Green Model for a production cell

Andrea Brasco Pampanelli^{a,*}, Pauline Found^{b,1}, Andrea Moura Bernardes^c

^a GKN Driveline Americas, Joaquim Silveira, 557, Porto Alegre 91060-320, Brazil

^b Cardiff University, Lean Enterprise Research Centre, Cardiff CF24 4AY, United Kingdom

^c UFRGS, PPGE3M Doctoral Programme, Av. Bento Gonçalves 9500, Setor 4, Campus do Vale., 91501-970, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 September 2012

Received in revised form

7 June 2013

Accepted 10 June 2013

Available online xxx

Keywords:

Lean

Lean and Green

Kaizen

Production cell

ABSTRACT

The purpose of lean thinking is to promote continuous improvement culture within a business. Specifically, lean thinking describes a work philosophy already used by many manufacturers. Lean thinking considers the expenditure of resources, for any goal other than the creation of value for the end customer to be wasteful. There has been much anecdotal evidence suggesting that a lean approach can help make the case for environmental impact reduction to businesses. We present an integrated lean and green approach that results in (i) a reduction in production waste and (ii) a reduction in environmental impact. Evidence-based results are first reviewed here. We show that previous findings identify a specific level of lean and manufacturing stability as a prerequisite for integrating lean and green at the manufacturing cell level. The main objective of this paper is to propose a new model, which we call the Lean & Green Model. In this model, we integrate environmental sustainability into pure lean thinking. The model presented in this paper adopts a Kaizen approach to improve mass and energy flows in manufacturing environments that already possess the necessary deployment level to apply lean thinking. The model was designed for, and is limited to, the cell level, which is the first stream level of a manufacturing business that supports the principles of lean thinking. The paper then presents findings from an application of the model in a major international engineering corporation, including the results of model deployment at the cell level. Such findings confirm that the Lean & Green Model can reduce resource use from 30 to 50% on average and has the potential to reduce the total cost of mass and energy flows in a cell by 5–10%.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Manufacturing is a constant game of doing more with less (Hopp and Spearman, 2008). Lean thinking is a key strategy that has completely changed the way manufacturing has developed over the past decades. Lean thinking, moreover, has been proven to lead to higher levels of production efficiency in many industries across many regions of the planet (Moreira et al., 2010). Gordon (2001) states that for decades, lean manufacturing has been considered the best way to run a manufacturing company. According to Bicheno (2000), the general purpose of lean thinking can be described with reference to three main dimensions of quality, delivery and cost. In other words, lean manufacturing means “producing exactly what the customer wants, exactly when (with

no delay), at fair price and minimum waste.” Therefore, lean thinking focuses on the optimization of production resources as relevant for the customer (i.e., time, people, machines, space, etc.) and reduces waste accordingly.

In general terms, lean thinking is defined according to five key principles (Womack and Jones, 1998):

- Specific value: value is defined from the perspective of the end customer with respect to a specific product with specific capabilities offered at a specific time.
- Identify value streams: each product's (or product family's) entire value stream is identified, and waste is eliminated accordingly.
- Make value flow: the remaining value-creating steps are coordinated to flow.
- Let the customer pull value: the manufacturer designs what the customer wants and provides it only when the customer wants it.
- Pursue perfection: the manufacturer strives for perfection by continually removing successive layers of waste as they are uncovered.

* Corresponding author. Tel.: +55 51 3349 9376; fax: +55 51 3349 9500.

E-mail addresses: andrea.pampanelli@gkndriveline.com, andreapampanelli@terra.com.br (A.B. Pampanelli), FoundPA1@cardiff.ac.uk (P. Found), amb@ufrgs.br (A.M. Bernardes).

¹ Tel.: +44 (0) 29 2064 7022.

The essence of lean thinking lies in people involvement. Kaizen, which is a Japanese word meaning continuous improvement, provides employees with a platform to unleash their creativity. Dr. J. Edward Deming was the pioneer in this regard. In the 1950s, he developed the Deming Cycle, which is a practical, simple and effective technique used to carry out continuous improvement in the workplace. According to Womack and Jones (1998), the key building block of lean thinking is Kaizen: a process-oriented philosophy that focuses on incremental improvements and the standardization of the improved system as a building block for further improvement. Kaizen philosophy has two major objectives: (i) to develop a problem-solving culture, with the focus on analyzing and solving problems with scientific and structured thinking and (ii) people involvement. From shop-floor workers (bottom–up) to the senior executives (top–down), Kaizen relies on the ongoing efforts and engagement of people (Berger, 1997).

Although the idea of lean thinking has not been extensively explored by environmental practitioners, many articles have referred to lean thinking fundamentals, such as the need for people involvement (Boyle, 1999; Perron et al., 2006; Remmen and Lorentzen, 2000; Stone, 2000; Venselaar, 1995), learning by doing (Dieleman and Huisingsh, 2006), continuous improvement (Fresner, 1998) and problem-solving tools (Calia et al., 2009). These principals have been used in studies that apply environmental practices to show that there is a connection between lean and green practices. A good example is the Kyosei concept (Kaku, 1997; Lozano, 2008a). Lozano (2008a,b) explores the idea that engagement and collaboration are key to creating a sustainable organization. According to this author, collaborative approaches can help to build stronger and more sustainability-oriented organizations because collaboration is a key element in helping individuals understand that they belong to a larger system. Environmental management and sustainable development both require companies to participate in collaborative actions that link business issues to environmental and social concerns. Kaku (1997) reports that by following the Kyosei concept, Canon has been able to reduce emissions and resource use while simultaneously increasing its revenues. The concept of Kyosei, particularly its emphasis on engagement, collaboration and inter-personal and inter-group interactions, is achieved by lean enterprises that apply Kaizen.

We summarize by noting that lean manufacturing perceives waste as non-value added to the customer (Bicheno, 2000). Meanwhile, green manufacturing focuses on the environment and perceives waste as the extraction, and the disposal, of resources at rates or in forms beyond that which nature can absorb (Lozano, 2008b). In other words, environmental waste is an unnecessary or excessive use of resources or substances released to the air, water or land that could harm human health or the environment (EPA, 2006). Environmental waste can occur when a company uses resources to provide products or services to customers and/or when customers use and dispose of products (EPA, 2006).

A lean manufacturing company is one that considers the expenditure of resources for any goal other than the creation of value for the end customer to be wasteful, which thus becomes a target for elimination (Womack and Jones, 1998). To achieve this, a lean enterprise is supposed to not only apply the five lean principles described above but also integrate tools that assist in improving quality and identifying and eliminating waste. Examples of such “tools” are Value Stream Mapping, 5S, Kanban (pull systems), and poka-yoke (error-proofing) (Bicheno, 2000). As waste is eliminated and quality improves, production time and costs are reduced. Essentially, lean manufacturing is centered on preserving value with less work.

A green manufacturing company, in contrast, acts (or claims to act) in a way that minimizes damage to the environment. To this end, a green company can apply different types of environmental

practices. The overall objective of such environmental practices is to (i) improve the productivity in the use of natural resources, such as energy and materials, and (ii) reduce environmental impact (Moreira et al., 2010). The Lean and Green Report (Zokaei et al., 2010) and the studies of Glavic and Lukman (2007) and Lozano (2012) provide an overview of several of these practices.

Three key examples of well-known environmental practices (also known as green practices) include (i) cleaner production, (ii) eco-efficiency and (iii) life cycle analysis (LCA). For Cagno et al. (2005), cleaner production is a preventive, company-specific environmental protection initiative. It is intended to minimize waste and emissions and to maximize productive output. By analyzing the flow of materials and energy in a company, source reduction strategies can be developed for minimizing waste and emissions in industrial processes. Improvements in organization and technology may help to reduce resource use or may suggest better choices in the use of materials and energy. These actions may lead to waste avoidance, including wastewater generation, gaseous emissions and waste heat and noise. According to Korhone (2007), eco-efficiency focuses on enhancing production while using fewer resources, which thus results in less waste and pollution. Seven critical factors are considered in eco-efficiency, including a reduction in the material intensity of goods and services, a reduction in energy intensity, a reduction in toxic dispersion, an enhancement of material recyclability, the maximum sustainable use of resources, a reduction in material persistence in nature and an increased service intensity of products. Finally, Haes (1993) notes that LCA models the complex interaction between a product and the environment from cradle to cradle, providing in-depth data on environmental impacts. LCA can be useful to manufacturing companies because it can show which activities, processes and materials lead to particularly large environmental impacts, which can in turn serve as targets for improvement.

Accordingly, we highlight the following concepts:

- The main objectives of environmental practices are (i) improving the use of natural resources and (ii) reducing environmental impacts.
- Although these practices can support business improvement and strategies (such as reducing costs), they are often stated as environmental protection initiatives.
- Environmental practices focus on the same objectives as manufacturing practices (i.e., mass and energy flows). However, prior to implementation, these practices may not take into consideration manufacturing production characteristics, such as manufacturing development, manufacturing stability and/or work practices, that may affect the way mass and energy are used.

There has been a concern among lean researchers that improving environmental performance may undermine the economic sustainability of an organization and that many businesses could not afford the cost of meeting their environmental responsibilities (Florida, 1996; Found, 2009). However, there are many examples in which improving environmental performance has improved a company's profit. Moreover, several authors have identified that lean manufacturing has had a significant contribution to the environment (Cobert and Klassen, 2006; King and Lenox, 2001; Maxwell et al., 1993; Porter and van der Linde, 1995).

Several studies analyzing synergies between pure lean thinking and environmental improvement practices discuss the positive and negatives aspects of using lean manufacturing to support environmental practices. These studies apply different aspects and tools of lean manufacturing to solve environmental problems and therefore contribute to more sustainable business.

Vais et al. (2006) published a study entitled "Lean and Green," which considers a Romanian secondary tissue paper and board mill. They analyzed the development of technical environmental projects aimed at accomplishing legal requirements and the use of lean tools, such as 5S, the Kaizen philosophy and autonomous maintenance; these tools were used to develop incremental improvements, which in turn optimized the use of natural resources and production output.

EPA published *The Lean and Environmental Toolkit* in December 2006 (EPA, 2006) to demonstrate that traditional lean tools can be applied to environmental waste. This manual established guidelines for using lean manufacturing tools to improve material flow in the main flows that support the production process and that in turn can affect the environment (such as energy, chemicals and other kinds of waste).

Biggs (2009) published an in-depth study on the integration of lean thinking and environmental improvement, concluding that the lean approach can help to make the case for environmental impact reduction to businesses. This is because lean thinking is capable of providing environmental benefits, even though there is no direct intention to reduce environmental impact, and moreover, lean thinking can be used to make environmental improvements as well as productivity improvements. Biggs's (2009) conclusion supports previous conclusions by Womack and Jones (1998), who maintained that lean thinking principles can help make green practices more effective by exposing hidden waste and eliminating it.

Moreira et al. (2010) developed a study integrating the concepts of lean thinking and eco-efficiency. After analyzing several publications that explore the relationship between lean and green manufacturing, the authors identified the three main causes of production waste due to weak environmental performance: (1) energy consumption, (2) material consumption and (3) pollutant emissions. The authors developed a framework for integrating the seven classic lean wastes (i.e., overproduction, inventory, transportation, motion, defects, waiting and over-processing) with previous types of environmental impact, energy use, materials consumption and emissions, and they showed that environmental waste is embedded within the seven classic production wastes. Although the authors do not explicitly outline the main characteristics of lean thinking, this study supports the notion that lean thinking can help make the case for environmental impact reduction to businesses.

Mohd Salleh et al. (2012) developed a system that integrates information management in environmental management systems practices with TQM (Total Quality Management) in lean manufacturing. The goal of this system is to achieve total communication efficiency using a green and lean TQM system. This system manages information while also addressing environmental concerns. This study provides some preliminary insights, especially for companies looking for a suitable system to improve their productivity through efficient information management. The study further proves that lean and green information systems can be integrated and that the same database can support both systems.

In more recent research, Dues et al. (2012) discussed how lean practices can act as catalysts for greening operations. The authors suggest that the lean and green connection goes beyond the notion of waste reduction and in fact overlaps in areas such as (1) tools and practices, (2) supply chain relationship, (3) lead time reduction, (4) the focus on people and organization and (5) the use of techniques for waste reduction. The applied literature analysis developed by the authors identified that lean manufacturing not only serves as a catalyst but also is synergistic for green manufacturing. Their research findings include the following:

- Green practices are no longer optional for companies and cannot be ignored. A green company is not necessarily a lean

company, as lean thinking is focused on manufacturing efficiency. Additionally, by introducing green practices into a lean operating environment, companies will often have to make trade-offs between multiple objectives that are not perfectly compatible.

- Lean manufacturers, however, are often greener than non-lean companies. Green manufacturing is a natural extension to lean manufacturing, although many lean practices are green without the explicit intention of being green.
- Lean manufacturing can serve as a catalyst to facilitate the implementation of environmental improvements. Lean thinking processes are beneficial to green practices, and the implementation of green practices has a positive influence on existing business practices.
- The integration of lean and green practices benefits companies. The hesitation toward green practices is fuelled by the fact that there is confusion about green manufacturing, and there are very few independent models, regulations and best practices that support its implementation. Because green practices are not the focal point of many companies, the potential to maximize green gains with the implementation of a simple green framework is significant. Therefore, it is essential to integrate both strategies and implement these simultaneously to fully exploit the synergetic effect.

From these studies, it is possible to draw the following conclusions:

- A lean company may easily become a green company: Lean thinking helps a company to become green, even if there is no direct intention to reduce environmental impact.
- There are intrinsic linkages between lean and environmental practices, in part due to the relentless focus of lean manufacturing on waste elimination.
- Lean tools and fundamentals are successful when used for promoting environmental improvements.
- A company's adoption of lean manufacturing can be the first stage in becoming green.
- The full integration of lean and green practices and fundamental objectives should benefit companies.

A model that connects a manufacturing approach (such as lean thinking) to green business practices is also supported by pure green practices. Many researchers have studied and proposed integrated approaches (Atkinson, 1994; Cagno et al., 2005; Zwetsloot, 1995). Some of them explore the context of green manufacturing (Baldwin et al., 2005; Deif, 2011; Hui et al., 2001; Silva and Amaral, 2009; Xue et al., 2007). Others explore limitations to and success factors in cleaner production, pollution prevention initiatives, leadership support factors and possibilities for integration into existing business models (Baas, 1995, 2007; Berkel, 1994; Höjer et al., 2008; Robèrt, 2002a,b; Stone, 2006a,b; Zwetsloot and Geyer, 1996).

While these researchers have explored the idea of an integrated approach, no one has fully explored the potential of adapting an existing manufacturing practice, such as lean thinking, to establish a new model for pollution prevention. Nevertheless, existing research supports the following conclusions:

- There are few practices or models (Kurdve et al., 2011) that integrate lean thinking and green thinking and merge its fundamental principles (for lean manufacturing, the five key principles; for green manufacturing, (i) improving the use of natural resources and (ii) reducing environmental impacts) to create an integrated model that considers and prioritizes lean and green manufacturing simultaneously.

- There is no environmental practice that considers a certain level of manufacturing stability, or lean deployment, as a prerequisite.
- There are few environmental practices or models (EPA, 2006) that identify and measure environmental aspects and impacts based on manufacturing value streams. Traditional green thinking has not integrated manufacturing philosophies to accomplish this task.
- Lean thinking has been suggested to be catalytic in creating environmental improvements, but traditional lean thinking has three main dimensions (quality, delivery and cost). Moreover, it focuses on the reduction of the seven classic lean wastes (overproduction, waiting, transporting, inappropriate processing, unnecessary inventory, unnecessary or excess motion and defects). With the introduction of environmental variables along value flows, other sources of waste can be considered and reduced, maximizing overall savings.

Following these conclusions, the main objective of this paper is to propose a new model, called the Lean & Green Model, whereby environmental sustainability is integrated into the pure lean thinking concept.

The model adopts a Kaizen approach to address and improve mass and energy flows in a manufacturing environment that already possesses a sufficient deployment level in applying lean manufacturing. The model was designed to be applicable at the cell level through a cross-functional Kaizen team event that ensures that all team members are fully involved and have the opportunity to contribute their ideas.

2. Materials and methods

This paper is based on an action research project developed from 2009 (Pampanelli et al., 2011) to 2012 by a team of lean manufacturing and environmental experts from Brazil and the UK. The study was applied in a global manufacturing engineering company. The Lean & Green Model was developed to investigate potential benefits for the environment and businesses in terms of waste reduction, operational performance and employee commitment. The model was tested in cells with different levels of lean deployment and environmental impacts via a cross-functional Kaizen team event to ensure that all team members were fully involved and had the opportunity to contribute their ideas.

The cell is the lowest production level in a manufacturing company organized by lean principles, and it is composed of a finite number of operations or machines (Hopp and Spearman, 2008). The main objective of developing a Lean & Green Model at the cell level is to improve the performance of the supporting flows (i.e., materials and energy consumption and waste generation) and to reduce all waste and impacts. The objects of this study are the mass–energy flows of the cell, which are evaluated according to operation. The expected output is the degree of improvement in these thermodynamic flows. Fig. 1 depicts the study's framework.

The basic and most important idea behind the Lean & Green Model is that lean and green approaches can be integrated as part of a continuous improvement process at a cell where lean manufacturing is already in place. Therefore, the main prerequisites for a cell to be a candidate for the Lean & Green Model are as follows:

- A stable process, with delivery records over 90%;
- A mature deployment level in using and applying lean tools (i.e., operators already know and apply the most common lean tools such as 5S, Visual Management, Autonomous Maintenance and Lost Time Analysis);

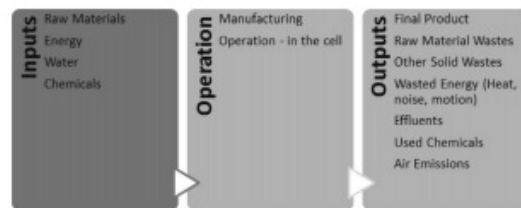


Fig. 1. Mass and energy flow analysis using the Lean & Green Model at the cell level and evaluated according to operations.

- Employee Involvement (EI) systems are in place (operators already know and apply the most common EI tools, such as Daily Meeting, Primary Visual Display, etc.);
- A supportive management team (i.e., a cell manager as well as senior and middle management) is available to sponsor the Lean & Green initiative;
- Good level of environmental awareness (i.e., operators have already been trained in understanding related environment issues and concerns);
- Significant use of natural resources (i.e., materials, chemicals, water and energy).

Based on lean thinking, the Lean & Green Model involves five steps, presented in Fig. 2.

The general objective of each step is described below:

- Step 1 – Stabilize the value stream (VS): Identify the need for improvement. Identify an operational cell that represents a significant use of resources, has a good deployment of lean tools and has a stable production flow that justifies application of the Lean & Green Model.
- Step 2 – Identify environmental aspects and impacts (E): Define the process improvement scope by identifying the environmental aspects and impacts of the value stream (in this case, the cell). Aspect and impact definitions are considered according to ISO 14001:2004. An environmental aspect is a feature or characteristic of an activity, product or service that affects or can affect the environment, the cell inputs or the cell outputs. An environmental impact is a change to the environment caused by environmental aspects resulting from cell inputs and outputs.
- Step 3 – Measure environmental value streams (EVS): Identify the actual data on the environmental process. Collect environmental data. Map the cell 'as-is' (that is, the current state of the process), and identify the cell's actual state for its main environmental flows. Measure the mass–energy flows for the cell. Organize the Kaizen event. The improvement metrics used for this Kaizen event are as follows:
 - Energy: Use of meters for collecting all energy consumed in a specific period of time (i.e., month). Energy bills are used to determine the cost.
 - Water: Use of meters for collecting all water consumed in a specific period of time (i.e., month). Water bills are used to determine the cost.
 - Metallic and contaminated waste and other waste: This represents all types of waste produced by a cell in a specific period of time (i.e., month). Waste bills are used to determine the cost.
 - Oils and chemicals: A company materials system (i.e., Oracle) is used to access all chemicals used by a cell in a specific period of time (i.e., month). Bills are used to determine the cost.

- Effluents: Use of meters for collecting all effluent generated in a specific period of time (i.e., month). Bills are used to determine the cost.
- Step 4 – Improve environmental value streams (EVS): Identify waste elimination opportunities during a Kaizen workshop. Prioritize the main production supporting flows for the team to analyze during the Kaizen event. Organize teamwork on the shop floor to identify the main waste elimination opportunities, analyze the main waste in each flow and identify the main improvements. Depending on the size of the cell, in terms of operations and machines, the Kaizen event may involve between 20 and 30 people, including all cell operators, leaders and managers, and maintenance people as well as environmental and lean specialists. The basic Kaizen structure under the Lean & Green Model includes the following phases:
 - Phase 1: Devote approximately 2 h to introducing the cell and its actual state and the costs and the environmental impacts of the cell mass and energy flows and then organizing the cross-functional teams that will be responsible for each of the cell's supporting flows (i.e., energy, waste, water, chemicals, etc.);
 - Phase 2: Devote approximately 2 h to the teamwork shop floor exercise. The objective of each team is to understand the use or generation flow of the team's resource during each cell operation. The questions that the teams should answer include (1) Why is this manufacturing operation necessary in this process? (2) Why is this waste/consumption generated here? (3) What is the frequency at which it is generated? (4) Why is this frequency necessary? (5) Is this operation deployed in accordance with the work standard? (6) Is the standard correct? and (7) What can be done to eliminate or reduce this usage?
 - Phase 3: Devote approximately 2 h to consolidating a future state map for the cell's mass and energy flows and to developing an action plan for improvement opportunities. Some of the questions that should be answered here include (1) What was identified? (2) What are the improvement opportunities? (3) What are the expected changes? (4) What are the gains? And (5) What does the future state look like? After answering these questions and after building the new mass and energy map for the cell and a specific action plan for accomplishing these changes, the Kaizen results are presented to the site leadership (who must approve the plan) to develop appropriate expectations. Finally, a 'to-be' map is developed that shows the future process by considering all the analyses developed during the Kaizen event.
- Step 5 – Continuous improvement (CI): Develop action and communication plans in the Kaizen workshop. The sustainability of the results achieved in the Kaizen should be evaluated through leadership standard work (LSW). The action plan is

validated with the project team leader, and the Kaizen event action plan is consolidated. Connections between team members are established by applying the EI tools that are already in place. Capture the learning.

Integrating lean and green manufacturing is treated a second step in a cell's continuous improvement process. It is understood that a stable production flow is the first step toward achieving a lean and green enterprise. Once cell stability is reached and production efficiency is under control, then the team is ready for the next step; this explains why the Lean & Green Model is designated for cells that already have stable production flow and have achieved a benchmark deployment level in applying lean thinking concepts.

In addition, leadership is a fundamental building block for lean and green deployment. The Kaizen initiative needs to be approved by Cell Manager, and it requires the complete commitment of team leaders and team members to deploy it properly.

The model presented in this paper was designed for, and is limited to, the cell level, which is the first value stream level of a manufacturing business that supports the principles of lean thinking. Therefore, any future states do not involve major changes in technology. Rather, the model focuses on behavioral and operations efficiency changes. From the environmental perspective, major technological changes should be analyzed by adopting LCA to avoid shifting the environmental burden.

3. Results

The case studies presented in this paper involved automotive manufacturing operations in Brazil. The model was applied in two different phases:

- Pilot testing phase: The model was applied to two cells to test the model in order to (1) confirm the five steps proposed as well as the overall structure before rolling out it for several other manufacturing cells, (2) confirm the lean prerequisites and participants and (3) analyze potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model.
- Roll-out phase: The model was applied to several different manufacturing cells of one manufacturing business. We integrated it with pre-existing lean structure and valued its potential for (1) improving the resource productivity of manufacturing processes and (2) reducing the environmental impact of manufacturing processes; we also aimed to (3) confirm the previously identified prerequisites by testing the model in different circumstances and (4) evaluate potential savings in terms of environmental improvements and cost reduction after applying the model.

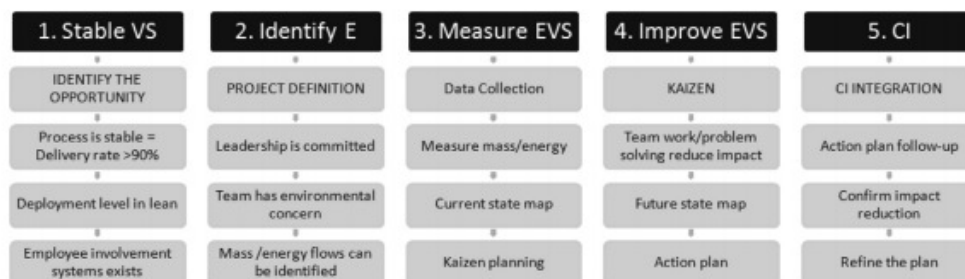


Fig. 2. The five-step Lean & Green Model for improving the performance of supporting flows in a production cell.

The pilot testing phase was implemented in two model cells (Monobloc A and Assembly 20). Table 1 presents the basic characteristics of the manufacturing operational cells where the Lean & Green Model was applied.

The pilot Kaizen events were developed at the end of 2008 and 2010 and followed the five-step model. The Kaizen events each involved approximately 30 people, including all cell operators, leaders and managers, and maintenance people as well as environmental and lean specialists. The results of the Kaizen events are presented in Table 2.

The action plan developed in the Kaizen event was 94% implemented in Monobloc A and 81% implemented in Assembly 20. The action plans from both Kaizen workshops were not 100% implemented because some of the ideas proposed by the Kaizen teams after detailed technical analyses were considered not to be viable by technical experts. Table 3 presents the implementation results for the Kaizens developed in Monobloc A and Assembly 20.

Pilot testing for the Lean & Green Model was considered successful, as it proved the business case for the Lean & Green Model, and it confirmed the proposed characteristics and prerequisites. The Lean & Green Model was then rolled out to other manufacturing cells.

The roll-out phase of the Lean & Green Model was further developed in automotive manufacturing operations in Brazil in 2011. The model applied for this phase was the same as presented previously. The Kaizen events followed the same structure as before. In total, through 2011, seven Kaizen events were held. Each of the seven manufacturing cells had different characteristics in terms of prerequisites for applying the Lean & Green Model. Tables 4 and 5 present the basic characteristics of the manufacturing operational cells where the Lean & Green Model was applied. The results of the Kaizen events are presented in Table 6.

Table 7 presents the results for the Kaizen events that took place in each of the seven cells in 2011. All of the action plans developed in 2011 are still under implementation, and on average, 41% of the proposed plans have been implemented. The implementation results for the seven Kaizen events were tracked through 2012.

Table 1
Environmental and manufacturing characteristics of the pilot cells.

Manufacturing characteristics	Monobloc A	Assembly 20
Kaizen date	Nov/08	Jun/10
Nature of operations	Steel machining	Assembly of manufactured parts
Main cell	Energy	Energy
Mass and energy flows	Water Chemicals/oils Effluents Metallic waste Hazardous waste	Waste grease Hazardous waste Cleaning cloths
Actual state data: Energy and materials consumption and waste generation	Energy consumption: 261 MWh/month Water consumption: 1.4 m ³ /month Chemicals usage: 0.6 m ³ /month Metallic waste: 55 tons/month Hazardous waste: 60 m ³ /month	Energy consumption: 11 MWh/month Waste grease: 0.2 ton/month Hazardous waste: 3 m ³ /month Cleaning cloths usage: 3120 pc/month
Prerequisites		
Level of lean deployment	Deployment level +	Deployment level +
Process stability	More than 90% +	More than 90% +
Application of EI tools	In place +	In place +
Leadership support	High +	High +
Environmental awareness	In place +	In place +
Use of resources	High +	Medium -
Total cost of mass and energy flows (US\$/year)	1,005,000	483,500
Major impact on the cell's environmental cost	Metallic waste 68%	Grease 75%

Table 2

Results of the Kaizen events: improvement opportunities identified for the cell mass and energy flows.

Cell impact	Monobloc A	Assembly 20
Energy saving: (%)	8%	6%
General chemical products consumption reduction: (%)	91% (Oils)	1% (Grease in the product)
Water consumption reduction: (%)	34%	NA
Effluent generation reduction: (%)	69%	NA
Metallic waste generation reduction: (%)	33%	NA
Hazardous waste generation reduction: (%)	67%	45%
Cleaning cloths usage reduction: (%)	NA	50%
Grease waste generation reduction: (%)	NA	100%
Average resources reduction: (%)	50%	40%

NA = Not Applicable.

The cell roll-out of the Lean & Green Model was considered successful. The model is a suitable strategy for (i) improving manufacturing process resource productivity by optimizing the performance of the supporting flows (i.e., material and energy consumption and waste generation) and (ii) reducing the environmental impact of the manufacturing process by reducing all environmental waste generated by production. Overall, the Lean & Green Model in the roll-out phase confirmed the results from the pilot testing phase.

4. Analysis of the results

We analyzed the key findings from the application of the Lean & Green Model in two different improvement cycles. The objectives of developing these improvement cycles were as follows:

- Analysis of Kaizen results in terms of (i) reduced environmental impact and (ii) increased productivity in the use of resources;
- Analysis of action plan results in terms of cost reduction;

Table 3
Monobloc A and Assembly 20 implementation results.

	Monobloc A	Assembly 20
% Action plan implemented	94%	81%
Examples of improvement opportunity ideas that were identified during the Kaizen events that were later implemented.	To reduce energy usage, motion sensitive and low-energy lights were installed in low-usage areas; to reduce metallic waste generation, forgings were redesigned to reduce machining and hence metallic waste; to reduce contaminated waste generation, plastic wrap containing oil contamination was eliminated from the containers, resulting in substantial savings in disposal costs.	To reduce energy usage, all assembly cell lighting system was substituted with a 54-W system that consumes less energy; to reduce grease waste generation, (1) a new system was introduced to re-use the waste grease that was left in the used drums, and (2) a new weighting standard was introduced to reduce the process waste grease.
% Cost savings due to reduction in cell's mass and energy flows	13%	3%
Cost savings (US\$/year)	After implementing the action plan US\$ 132,000 After implementing the action plan	After implementing the action plan US\$ 15,000 After implementing the action plan

- Analysis of which variables should be considered when applying the Lean & Green Model;
- Identification of other key findings.

Table 8 presents some conclusions regarding the results from application of the Lean & Green Model in terms of (i) reduced environmental impact and increased productivity in the use of resources, (ii) cost reduction and (iii) confirmation of the model prerequisites. The data used for developing these conclusions are based on the results presented in Section 3.

Based on the results in Table 8, we summarize the empirical findings from implementing the Lean & Green Model as follows:

- In terms of reducing environmental impact and increasing productivity in the use of resources, the Lean & Green Model

reduces the use of resources, on average, by 30–50% for the cells that fulfill all model prerequisites.

- In terms of cost reduction, the results show a potential reduction of 5–10% of the total cost of mass and energy flows of the cells. As these are initial results, and because the pilot testing is the only study that has been fully completed, most improvement opportunities identified in the roll-out are still under implementation (with an average 41% implementation so far). The results for the seven cells in the rollout phase suggest an average annual cost savings per cell of approximately US\$ 22,900. Considering that the automotive company where the project is being tested has approximately 70 cells, if the model is implemented in all cells, the Lean & Green Model will generate a total annual savings of US\$ 1,600,000/year for the company. Cagno et al. (2005) analyzed cleaner production

Table 4
Shaft A, Tripod A, FJ C and PF B environmental and manufacturing characteristics (including an evaluation of prerequisites).

Manufacturing characteristics	Shaft A	Tripod A	FC C	PF B
Kaizen date	Feb/11	Mar/11	Jul/11	Jul/11
Nature of operations	Steel machining	Steel machining	Steel machining	Precision forming
Main cell	Energy Water + effluents	Energy Water + effluents	Energy Water + chemicals/oils	Energy
Mass and energy flows	Chemicals/oils Hazardous waste Metallic waste	Chemicals/oils Metallic waste General waste (Cleaning Cloths)	Chemicals/oils + effluents Hazardous waste Metallic waste	Chemicals/oils Water + effluents Metallic waste
Actual state data: Energy and materials Consumption and waste generation	Energy consumption: 155 MWh/month Water consumption: 37 m ³ /month Effluent generation: 55 m ³ /month Chemicals usage: 2 m ³ /month Metallic waste: 27 tons/month Hazardous waste: 2 tons/month	Energy consumption: 72 MWh/month Water consumption: 3 m ³ /month Effluent generation: 6 m ³ /month Chemicals usage: 3 m ³ /month Metallic waste: 18 tons/month Cleaning cloths Usage: 411 pc/month	Energy consumption: 120 MWh/month Water consumption: 10 m ³ /month Effluent generation: 10 m ³ /month Chemicals usage: 0.5 m ³ /month Metallic waste: 38 tons/month Hazardous waste: 4 m ³ /month	Energy consumption: 528 MWh/month Water consumption: 18 m ³ /month Effluent generation: 25 m ³ /month Chemicals usage: 4 m ³ /month Metallic waste: 27 tons/month
Prerequisites				
Level of lean deployment	Deployment level +	Advanced level +++	Deployment level +	Implementing level –
Process stability	More than 90% +	Much more than 90% +++	More than 90% +	Less than 90% –
Application of EI tools	In place +	Very high +++	In place +	In place +
Leadership support	In place +	Very high +++	In place +	In place +
Environmental awareness	In place +	In place +	In place +	In place +
Use of resources	High +	Medium –	High +	Very high +++
Total cost of mass and energy flows (US\$/year)	US\$ 775,135	US\$ 400,785	US\$ 803,145	US\$ 1,413,955
Major impact on the cell's environmental cost	Metallic waste 63%	Metallic waste 66%	Metallic waste 72%	Energy 53%

Table 5
Cage A, PF A and AIR A environmental and manufacturing characteristics (including an evaluation of prerequisites).

Manufacturing characteristics	Cage A: A1–A2	PF A	AIR A
Kaizen date	Jul/11	Aug/11	Aug/11
Nature of operations	Steel machining	Precision forming	Steel machining
Main cell	Energy	Energy	Energy
Mass and energy flows	Chemicals/oils Metallic waste Hazardous waste	Chemicals/oils Water + effluents Metallic waste	Effluents Chemicals/oils Metallic waste Hazardous waste General waste
Actual state data: Energy and materials consumption and waste generation	Energy consumption: 121 MWh/month Chemicals usage: 2 m ³ /month Metallic waste: 18 tons/month Hazardous waste: 5 m ³ /month	Energy consumption: 738 MWh/month Water Consumption: 1382 m ³ /month Effluent generation: 823 m ³ /month Chemicals usage: 31 m ³ /month Metallic waste: 27 tons/month	Energy consumption: 72 MWh/month Effluent generation: 9 m ³ /month Chemicals usage: 2 m ³ /month Metallic waste: 2 tons/month Hazardous waste: 5 m ³ /month General waste: 23 pc/month
Prerequisites			
Level of lean deployment	Deployment level +	Implementing level –	Deployment level +
Process stability	More than 90% +	Less than 90% –	More than 90% +
Application of EI tools	In place +	In place +	In place +
Leadership support	In place +	In place +	In place +
Environmental awareness	In place +	In place +	In place +
Use of resources	High +	Very high +++	Low –
Total cost of mass and energy flows (US\$/year)	US\$ 765,272	US\$ 2,754,352	US\$ 163,032
Major impact on the cell's environmental cost	Metallic waste 71%	Chemicals – 40% Energy – 38%	Energy 62%

and profitability based on 134 industrial pollution prevention projects. For the automotive sector, which includes companies such as Chrysler, Ford and General Motors, the average annual savings obtained was US\$ 318,500/year. This represents only 20% of what may be possible under the Lean & Green Model.

- In terms of confirming model prerequisites, a variety of variables must be considered when applying the model. The pilot testing and the rollout of the model confirm the predicted prerequisites. The following attributes should be in place to apply the Lean & Green Model: (i) a stable process, with delivery records over 90%, (ii) a sufficient deployment level in terms of using and applying lean tools, (iii) EI systems in place, (iv) a supportive management team, (v) environmental awareness among the members and (vi) significant use of natural resources. The cells that fulfilled all prerequisites, including a sufficient deployment level in terms of applying lean tools and a stable process, achieved better results.

After a full evaluation of these results, we maintain that the Lean & Green Model is a good example of how lean “ways of working”, based on the Kaizen spirit of involving people, can support sustainable manufacturing. Following the empirical results, Table 9 summarizes the differences in the purposes of and principles behind pure green thinking, pure lean thinking and the Lean & Green Model.

Following Table 9, the model developed here is different from other approaches and from pure lean and/or pure green practices, such as cleaner production and eco-efficiency. These differences are due to the following model characteristics:

- The Lean & Green Model fully integrates lean thinking and green thinking, merging the fundamental principles of lean (i.e., the five key principles (Womack and Jones, 1998)) and green ((i) improving the use of natural resources and (ii) reducing environmental impact (Moreira et al., 2010)) philosophies to create a unique, integrated model.

Table 6
Results of the seven Kaizen events developed during 2011.

	Shaft A	Tripod A	FJ C	PF B	Cage A: A1–A2	PF A	AIR A
Energy saving: (%)	2.8%	14%	10%	2%	11%	2%	4.7%
Water consumption reduction: (%)	100%	28%	45% (Water, chemicals and effluents)	1%	NA	72%	NA
General chemical products consumption reduction: (%)	29% (Oils)	86% (Oils)		49% (Forging oil)	60% (Oils)	7%	76% (Oils)
Effluent generation reduction: (%)	100% ⁴	28%		1%	NA	72% (phosphate effluent)	0%
Metallic waste generation reduction: (%)	20%	19%	2%	28%	1%	14%	0%
Hazardous waste generation reduction: (%)	55%	NA	50%	NA	50%	NA	50%
General waste generation reduction: (%)	NA	66% (Cleaning Cloths)	NA	NA	NA	NA	5%
Grease waste generation reduction: (%)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Average resource reduction: (%)	50%	40%	27%	17%	31%	34%	34%

NA = Not Applicable.

⁴ 100% effluent generation reduction was possible due to technology change (wet turning operation to 100% dry turning).

Table 7
2011 Kaizens implementation results.

Implementation results	Shaft A	Tripod A	FJ C	PF B	Cage A: A1-A2	PF A	AIR A
% Action plan implemented	68%	86%	40%	31%	60%	31%	23%
Cost savings (US\$/year)	US\$ 27,396	US\$ 55,636	US\$ 12,191	US\$ 45,062	US\$ 967	US\$ 9033	US\$ 1275
Cost savings are taken after the Kaizen events until the end of 2011 (in months)	(10 months)	(9 months)	(5 months)	(5 months)	(5 months)	(4 months)	(4 months)
% Cost savings by reducing cell's mass and energy flows	4%	14%	2%	3%	1%	0%	1%

- The Lean & Green Model introduces a new dimension into traditional lean thinking: environmental concerns. Traditional lean thinking focuses on three dimensions: quality, delivery and cost (Bicheno, 2000). The Lean & Green model introduces environmental concerns by requiring (i) the productive use of resources, (ii) a reduction in environmental impact (iii), and environmental awareness along the flow of value.
- The Lean & Green Model focuses on non-traditional sources of savings. Traditional lean thinking considers only reductions in the seven classic lean wastes (overproduction, waiting, transporting, inappropriate processing, unnecessary inventory, unnecessary/excess motion and defects). With the introduction of environment concerns along the flow of value, other sources of waste can be targeted and reduced, thereby maximizing overall

savings. This idea supports the study of Moreira et al. (2010), which explores other sources of waste, environmental impacts, energy use, materials consumption and emissions to show that environmental waste is hidden within the seven classic production wastes.

- The Lean & Green Model prioritizes manufacturing stability and a focus on the customer. The first step involves delivering what the customer wants, specifying the customer value and then identifying the value streams, thereby making value flow at the pull of the customer. The Lean & Green Model's name suggests that it is necessary to be lean *first*. Therefore, a sufficient lean deployment level is key to implementing the Lean & Green Model. This idea supports the study of Dues et al. (2012), which concluded that a lean environment serves as a catalyst to facilitate environmental sustainability.

Table 8

Analysis of the Lean & Green Model regarding (i) reduced environmental impact and increased productivity in the use of resources, (ii) cost reduction and (iii) confirmation of the model prerequisites.

Lean & green model analysis	Period of analysis	Number of applications developed in the period of study	Kaizen results (1) reduced impact (2) productivity in the use of resources	Action plan results cost reduction	Confirmation of prerequisites	Key findings and observations
CYCLE 1 Analysis of the application and results of the Lean & Green Model for pilot testing	From Jan/09 to Dec/10	2 Nov/08 – Monobloc A Jun/10 – Assembly 20	Monobloc A: 50% improvement Assembly 20: 40% improvement	Monobloc A: 13% improvement Assembly 20: 3% improvement	Yes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Confirmed the prerequisites: The cell is a good starting point for a Lean & Green intervention: the cell is where key processes occur and where people can "touch" the flow of production and can easily see the supporting flows (mass and energy flows); 2. Lean stability, deployment level is a good benchmark for implementation; 3. Management support is key for developing the Kaizen event and subsequent action plan implementation; 4. The Kaizen approach is successful for environmental improvements: bottom-up team efforts together with employee involvement raise people's environmental understanding to a much higher level; 5. The Lean & Green Model is an excellent pollution prevention strategy: it is possible to achieve reductions of approximately 10% in energy and approximately 50% in materials and waste.
CYCLE 2 Analysis of the application and results of the Lean & Green Model for roll-out phase	From Jan/11 to Dec/11	7 Feb/11 – Shaft A Mar/11 – Tripod A Jul/11 – FJ C Jul/11 – PF B Jul/11 – Cage A Ago/11 – PF A Ago/11 – AIR A	Shaft A: 50% Tripod A: 40% FJ C: 27% PF B: 17% Cage A: 31% PF A: 34% AIR A: 34%	Action plan implementation will be tracked in 2012	Yes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Confirmed the prerequisites: Lean stability and deployment level are key for Lean & Green Model implementation, and Kaizen events should not be developed in cells that do not have lean deployment; the development of Kaizen events in cells that did not present a sufficient level of lean deployment demonstrates that this benchmark is needed to implement the Lean & Green Model; 2. For the first level flow, the model is more dependent on the degree of lean deployment (i.e., change agents) than on environmental expertise; improvement actions are also simpler.

Table 9

A comparison of the Lean & Green Model with pure lean thinking and pure green thinking.

	Green thinking (environmental sustainability)	Lean thinking	Lean & green model
General purpose	"Use of natural resources without going beyond the carrying capacities and the production of pollutants without passing the biodegradation limits of the receiving system" (Lozano, 2008b)	"Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price and minimum waste" (Bicheno, 2000)	"Producing exactly what the customer wants, exactly when (with no delay), at fair price, minimum waste and environmental impact and maximum productivity in the use of natural resources"
Main Principles	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identify environmental aspects and impacts; 2. Measure environmental impact and the use of natural resources; 3. Identify alternatives to (1) impact reduction and (2) improve resource productivity; 4. Pursue continuous improvement. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Specify value; 2. Identify VS; 3. Coordinate value flow; 4. Let the customer pull value; 5. Pursue perfection. (Womack and Jones, 1998) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identify a stable value stream (level 1, 2 or 3); 2. Identify the flow of value and its environmental aspects and impacts; 3. Measure VS environmental impacts and the use of natural resources; 4. Identify alternatives to (i) impact reduction and (ii) resource productivity in VS; 5. Pursue perfection with continuous improvement.

- The Lean & Green Model thus requires a certain level of manufacturing stability and lean deployment prior to being introduced. Other environmental practices, such as cleaner production (Cagno et al., 2005) and eco-efficiency (Korhone, 2007), do not take these prerequisites into consideration.
- As with other environmental practices, the Lean & Green Model has the clear objective of improving the use of natural resources and reducing the environmental impact (Moreira et al., 2010). In this case, the difference between the Lean & Green Model and other environmental practices is the approach that the Lean & Green Model adopts to implement environmental practices. Both cleaner production and eco-efficiency focus on analyzing the flow of materials and energy in a company to identify improvement opportunities, such as the use of fewer resources; the minimization of waste, emissions and pollution; and the maximization of product output. Neither cleaner production nor eco-efficiency focuses on manufacturing approaches to production and value streams (Womack and Jones, 1998) to accomplish this objective. The Lean & Green Model identifies and measures environmental aspects and impacts as well as inputs and outputs, based on manufacturing value streams and respecting the real flow of value. Applying the Lean & Green Model makes it easier to coordinate environmental and production performance metrics in a unique and integrated system.
- The Lean & Green Model focuses on a simultaneous top-down and bottom-up approach for deploying continuous environmental improvements. All improvement opportunities that are identified by the Lean & Green Model using the Kaizen approach (Berger, 1997) are directly integrated into continuous improvement of the already existing structure due to lean deployment.

5. Conclusions

One of the main challenges faced by organizations involves building and maintaining a business in an ever-evolving market and entrepreneurial environment. With the growth of social concerns about the environment, new systems and procedures must be incorporated into business operations. As a result, a new function has been integrated into the management function, namely, the environmental function (Darnalla et al., 2008; Nawrocka and Parkera, 2009).

This paper has proposed a new model, the Lean & Green Model, where the green concern for environmental sustainability is integrated with lean thinking. The model uses the Kaizen approach for addressing and improving mass and energy flows in a

manufacturing environment that already possesses a specified lean deployment level. The Lean & Green Model was developed to investigate the potential benefits of integrating green and lean thinking for both the environment and businesses in terms of waste reduction, operational performance and employee commitment.

The model presented in this paper was designed for, and is limited to, the cell level, which is the first-value stream level of a manufacturing business that supports the principles of lean thinking. This study can be expanded to the other value stream levels, including the second-level flow (i.e., the factory) as well as the third-level flow, or extended value stream, level (i.e., multiple factories or the supply chain). These extensions will be the subject of future studies.

Prior to applying the proposed methodology, we identified six prerequisites for implementing the Lean & Green Model: (i) a stable process, with delivery records over 90%, (ii) a sufficient deployment level in terms of using and applying lean tools, (iii) EI systems in place, (iv) a supportive management team, (v) environmental awareness and (vi) significant use of natural resources.

The model was tested in cells of a global manufacturing engineering company with different levels of lean deployment and environmental impacts. The model used a cross-functional Kaizen team event to ensure that all team members were fully involved and had the opportunity to contribute their ideas.

Summarizing the findings presented in this paper, we make the following conclusions about the Lean & Green Model:

- (1) The findings confirm the Lean & Green Model objectives of (i) a reduced environmental impact and (ii) increased productivity in the use of resources. In terms of reducing the environmental impact and increasing productivity in the use of resources, the Lean & Green Model reduced the use of resources by an average of 30–50% for the cells that fulfilled all model prerequisites.
- (2) The findings confirm the Lean & Green Model's potential for cost savings. In terms of cost reduction, the results show a potential reduction of 5–10% in the total cost of mass and energy flows.
- (3) The findings confirm the significance of the identified prerequisites. The cells that did not satisfy all prerequisites exhibited an inferior performance improvement compared with other cells. Although there was some improvement, it was not as much as the improvement in cells that fulfilled the identified prerequisites.

As discussed above, the model proposed here is different from other hybrid approaches, and it is also distinct from pure lean and/or pure green practices, such as cleaner production and eco-efficiency, due to the following characteristics:

- (1) The Lean & Green Model fully integrates lean thinking and green thinking, merging the fundamental principles of lean and green thinking to create a unique, integrated model.
- (2) The Lean & Green Model introduces a new dimension into traditional lean thinking: environmental concerns.
- (3) The Lean & Green Model focuses on non-traditional sources of savings. Traditional lean thinking considers only reductions in the seven classic lean wastes. With the introduction of environmental concerns along the flow of value, other sources of waste can be targeted and reduced, maximizing overall savings.
- (4) The Lean & Green Model prioritizes manufacturing stability and customer focus. It is called the Lean & Green Model because it is necessary to be lean *first*.
- (5) The Lean & Green Model requires a sufficient level of manufacturing stability and lean deployment prior to its introduction. Other environmental practices, such as cleaner production and eco-efficiency, do not have this prerequisite.
- (6) The Lean & Green Model identifies and measures environmental aspects and impacts as well as inputs and outputs, based on manufacturing value streams and the real flow of value. Neither cleaner production nor eco-efficiency focuses on manufacturing approaches to production and value streams to accomplish their objectives.
- (7) The Lean & Green Model focuses on a simultaneous top-down and bottom-up approach for deploying continuous environmental improvements that are integrated into the continuous improvement structure of the existing lean deployment.

Therefore, the following conclusions can be generalized about the Lean & Green Model:

- (1) The Lean & Green Model embraces a Lean-to-Green approach. The implementation of the Lean & Green Model should be a continuation of, or a second step to, continuous improvement where a lean culture is already in place.
- (2) The Lean & Green Model is data dependent. As in many environmental practices, such as cleaner production, in the Lean & Green Model, the data “tell the story,” as the saying goes. Therefore, pre-work preparation and data collection are key steps in implementation and should be deployed properly to obtain good results during the Kaizen event.
- (3) The Lean & Green Model is a good pollution prevention strategy. It is possible to reduce energy by approximately 10% energy and to reduce materials and waste by approximately 30–50%.
- (4) The Lean & Green Model can be used to reduce costs. It is possible to reduce operational manufacturing mass and energy flow costs by 5–10%.

Based on the results presented, the Lean & Green Model shows that environmentally sustainable practices can be treated as an extension of lean philosophy. Sustainability means “meeting the needs of current generations without compromising the ability of future generations to meet their needs in turn”. The three fundamental social, environmental and financial impacts (or People, Planet and Profit) have evolved to redefine business objectives according to the original Brundtland philosophy (World Commission on Environment and Development, 1987). Thus, lean thinking leads us toward sustainability initiatives. Because lean thinking addresses economic sustainability, environmental sustainability, in concept and in practice, can be considered lean thinking that has been expanded to achieve a much broader objective.

Environmental sustainability, like lean thinking, has a good track record of improving business finances because of the emphasis on eliminating waste. Extensive opportunities exist to save resources and money on the shop floor. This paper applies the

Lean & Green Model using Kaizen exercises that draw on operators’ and leaders’ ideas and experience as well as appropriate lean tools and techniques for identifying waste. This model can generate 5–10% in operational cost improvement. In a world of uncertainty about the economy and the environment, the Lean & Green Model demonstrates a new and innovative approach to support the development of sustainable business.

References

- Atkinson, R., 1994. New models of pollution prevention technical assistance. *J. Clean. Prod.* 2, 101–106.
- Baas, L., 1995. Cleaner production: beyond projects. *J. Clean. Prod.* 3, 55–59.
- Baas, L., 2007. To make zero emissions technologies and strategies become a reality, the lessons learned of cleaner production dissemination have to be known. *J. Clean. Prod.* 15, 1205–1216.
- Baldwin, J., Allen, P., Winder, B., Ridgway, K., 2005. Modeling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development. *J. Clean. Prod.* 13, 887–902.
- Berger, A., 1997. Continuous improvement and Kaizen: standardization and organizational designs. *Integr. Manuf. Syst.* 8, 110–117.
- Berkel, C., 1994. Comparative evaluation of cleaner production working methods. *J. Clean. Prod.* 2, 139–152.
- Bicheno, J., 2000. *The Lean Toolbox*. PICSIE Books, Buckingham, UK.
- Biggs, C., 2009. *Exploration of the Integration of Lean and Environmental Improvement*. School of Applied Science, Cranfield University, Bedfordshire, UK, p. 391. PhD Thesis.
- Boyle, C., 1999. Cleaner production workshops. *J. Clean. Prod.* 7, 83–87.
- Cagno, E., Trucco, P., Tardini, L., 2005. Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports. *J. Clean. Prod.* 13, 593–605.
- Calia, R., Guerrini, F., Castro, R., 2009. The impact of Six Sigma in the performance of a pollution prevention program. *J. Clean. Prod.* 17, 1303–1310.
- Cobert, C., Klassen, R., 2006. Extending the horizons: environmental excellence as key to improving operations. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* 8, 5–22.
- Darnalla, N., Henriquest, L., Sadorskyb, P., 2008. Do environmental management systems improve business performance in an international setting? *J. Int. Manag.* 14, 364–376.
- Deif, A., 2011. A system model for green manufacturing. *J. Clean. Prod.* 19, 1553–1559.
- Dieleman, H., Huisingh, D., 2006. Games by which to learn and teach about sustainable development: exploring the relevance of games and experiential learning for sustainability. *J. Clean. Prod.* 14, 837–847.
- Dues, C., Tan, K., Lim, M., 2012. Green as the new lean: how to use lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *J. Clean. Prod.* 1, 1–8.
- EPA, United States Environmental Protection Agency, 2006. *The Lean and Environment Toolkit*. Available at: <http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/index.htm> (accessed 17.12.11.).
- Florida, R., 1996. Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing. *Calif. Bus. Rev.* 39, 80–105.
- Found, P., 2009. Lean and low environmental impact manufacturing. In: *POMS 20th Annual Conference*. Orlando, 2009, vol. 11, pp. 126–130.
- Fresner, J., 1998. Starting continuous improvement with a cleaner production assessment in an Austrian textile mill. *J. Clean. Prod.* 6, 85–91.
- Glavic, P., Lukman, R., 2007. Review of sustainability terms and their definitions. *J. Clean. Prod.* 15, 1875–1885.
- Gordon, P., 2001. *Lean and Green—Profit for Your Workplace and Environment*. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco.
- Haes, H., 1993. Applications of life cycle assessment: expectations, drawbacks and perspectives. *J. Clean. Prod.* 1, 131–137.
- Höjer, M., Ahlroth, S., Dreborg, K.-H., Ekvall, T., Finnveden, G., Hjälm, O., Hochschorner, E., Nilsson, M., Palm, V., 2008. Scenarios in selected tools for environmental systems analysis. *J. Clean. Prod.* 16, 1958–1970.
- Hopp, W., Spearman, M., 2008. *Factory Physics*. McGraw-Hill/Irwin, New York.
- Hui, J., Chan, A., Pun, K., 2001. A study of the Environmental Management System implementation practices. *J. Clean. Prod.* 9, 269–276.
- Kaku, R., 1997. The path of Kyosei. *Harv. Bus. Rev.* 75 (4), 55.
- King, A., Lenox, M., 2001. Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Prod. Oper. Manag.* 10, 244–256.
- Korhone, J., 2007. From material flow analysis to material flow management: strategic sustainability management on a principle level. *J. Clean. Prod.* 15, 1585–1595.
- Kurdve, M., Romwall, K., Bellgran, M., Torstensson, E., 2011. A systematic approach for identifying lean and green improvements related to packaging material in assembly. In: *Swedish Production Symposium, SPS11*, Lund, Sweden.
- Lozano, R., 2008a. Developing collaborative and sustainable organizations. *J. Clean. Prod.* 16, 499–509.
- Lozano, R., 2008b. Envisioning sustainability three-dimensionally. *J. Clean. Prod.* 16, 1838–1846.
- Lozano, R., 2012. Towards a better understanding of sustainability into companies’ systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. *J. Clean. Prod.* 25, 14–26.
- Maxwell, J., Rothenberg, S., Schenck, B., 1993. *Does Lean Mean Green? The Implications of Lean Production for the Environmental Management*. MIT Working Paper. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

- Mohd Salleh, N., Kasolang, S., Jaffar, A., 2012. Green lean total quality information management in Malaysian automotive companies. *Proc. Eng.* 41, 1708–1713.
- Moreira, F., Alves, A., Sousa, R., 2010. Towards eco-efficient lean production systems. *IFIP Adv. Inform. Commun. Technol.* 322, 100–108.
- Nawrocka, D., Parkera, T., 2009. Finding the connection: environmental management systems and environmental performance. *J. Clean. Prod.* 17, 447–454.
- Pampanelli, A., Found, P., Bernardes, A., 2011. A lean and green Kaizen model. In: POMS 21st Annual Conference. Reno, 2011, pp. 020–0310.
- Perron, G., Côté, P., Duffy, F., 2006. Improving environmental awareness training in business. *J. Clean. Prod.* 14, 551–562.
- Porter, M., van der Linde, C., 1995. Toward a new conception of environmental competitive relationship. *J. Econ. Perspect.* 9, 97–118.
- Remmen, A., Lorentzen, B., 2000. Employee participation and cleaner technology: learning processes in environmental teams. *J. Clean. Prod.* 8, 365–373.
- Robèrt, K.-H., 2002a. Strategic sustainable development: selection, design and synergies of applied tools. *J. Clean. Prod.* 10, 197–214.
- Robèrt, K.-H., 2002b. *The Natural Step Story: Seeding a Quiet Revolution*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.
- Silva, P., Amaral, F., 2009. An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes. *J. Clean. Prod.* 17, 1339–1350.
- Stone, L., 2000. When case studies are not enough: the influence of corporate culture and employee attitudes on the success of cleaner production initiatives. *J. Clean. Prod.* 8, 353–359.
- Stone, L., 2006a. Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents I. Achieving commitment and on-going improvement. *J. Clean. Prod.* 14, 1–14.
- Stone, L., 2006b. Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents. II. Leadership, support, communication, involvement and programme design. *J. Clean. Prod.* 14, 15–30.
- Vais, A., Miron, V., Pedersen, M., Folke, J., 2006. “Lean and Green” at a Romanian secondary tissue paper and board mill—putting theory into practice. *Resour. Conserv. Recycling* 46, 44–74.
- Venselaar, J., 1995. Environmental training: industrial needs. *J. Clean. Prod.* 3, 9–12.
- Womack, J., Jones, D., 1998. *Lean Thinking*. Free Press, New York.
- World Commission on Environment and Development, 1987. *Our Common Future*. Available at: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (accessed 17.12.11.).
- Xue, H., Kumar, V., Sutherland, J., 2007. Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input–output models. *J. Clean. Prod.* 15, 1349–1358.
- Zokaei, K., Martinez, F., Vazquez, D., Evans, B., Sarmadi, K., Peattie, L., Pampanelli, A., Hines, P., Trivedi, N., 2010. *Best Practice Tools and Techniques for Carbon Reduction and Climate Change: Lean and Green Report*. Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University, Cardiff, UK.
- Zwetsloot, G., 1995. Improving cleaner production by integration into the management of quality, environment and working conditions. *J. Clean. Prod.* 3, 61–66.
- Zwetsloot, G., Geyer, A., 1996. The essential elements for successful cleaner production programmes. *J. Clean. Prod.* 4, 29–39.