

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

ÁUREO JOSÉ PILLMANN CHIARADIA

UTILIZAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS NA
GESTÃO E MELHORIA CONTÍNUA DOS EQUIPAMENTOS: UM ESTUDO DE CASO
NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Porto Alegre

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

ÁUREO JOSÉ PILLMANN CHIARADIA

UTILIZAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS NA
GESTÃO E MELHORIA CONTÍNUA DOS EQUIPAMENTOS: UM ESTUDO DE CASO
NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade
Profissionalizante – Ênfase Produção

Orientador: Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro

Porto Alegre

2004

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pelo Coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.
Orientador Escola de Engenharia/UFRGS

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, Dra.
Coordenadora MP/Escola de Engenharia/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo André Perondi
EE/UFRGS

Prof. Dra. Giovana Savitri Pasa
UCS

Prof. Dr. Ely Laureano Paiva
UNISINOS

Dedico este trabalho aos meus pais Neuza e Casildo (in memorian), a minha avó Nair (in memorian), meu avô Waldemar (Pillmann), minha irmã Marlise e minha sobrinha Jéssica, pelo amor, amizade, apoio e exemplo, fundamentais para a concretização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos para:

A Dona Marina e Sr. Carlos pelo papel importante que representam na minha família, pelo apoio e carinho sempre demonstrado.

A família Corrent, minha segunda família: Vital, Ivone, Nara (pelo apoio nos momentos finais), Joise, Tano, Junior, Bruno, Olenka e Rô, pelo amor e por tudo que representam na minha vida.

Aos amigos Garigran, Gabriela, Aaron e Arthur por todo apoio, amizade, amor e companheirismo.

Aos colegas da empresa que muito me ajudaram durante a redação deste trabalho através das amplas discussões realizadas no dia a dia: Alex Silva, Álvaro Valls, André Seidel, Daniel Mosená, Gisele Sartori, Indiomar Jung (In memorian), Marcelo Albertoni, Maurício Maciel e Paulo Wickert.

Aos colegas de mestrado: Altair Correa., Ricardo Lecke, Fábio Souza, Fábio Morais, Alberto Keller, Egon Filter, Rodrigo Canto, Tiago Filomena e em especial aos amigos Reginaldo Parenza e Volnei Dalmas.

Aos colegas Ana, Anita, Carlo Panitz (pela amizade e pelo apoio na realização do sonho de lecionar), Ciro, Geraldo, Vinícius e Sidnei da FACENSA.

Aos amigos e colegas Bartô, Jair Pacheco, Márcia Balbi (grande comadre), Mário Filho, Mário Ramos, Maurício Roesler, Orlando Hidalgo, Rosimeri e Sandra.

Aos professores e funcionários do PPGEP-UFRGS e em especial ao Professor Ribeiro por sua disponibilidade, orientação e ajuda.

A Empresa GKN DO BRASIL, pelo incentivo e apoio para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo descrever e analisar a utilização do indicador de eficiência global de equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*) como forma de gestão e melhoria contínua de equipamentos. Como objetivo principal, buscou-se estudar e desenvolver o indicador de OEE em equipamentos aplicados à indústria automobilística, descrevendo a fórmula de cálculo e as perdas envolvidas. Este trabalho revisa o conceito da TPM – *Total Productive Maintenance*, metodologia da qual originou-se o indicador de OEE, analisando o modelo original desenvolvido por Nakajima (1993) e um modelo mais atual apresentado por Shirose (1996). Também fizeram parte da revisão bibliográfica os modelos de cálculo de eficiência global CUBES – *Capacity Utilization of Bottleneck Equipment System* desenvolvidos por Jeong e Phillips (2001) e o modelo TEEP – *Total Effectiveness Equipment Performance* desenvolvido por Hansen (2002). Com base no estudo de caso desenvolvido em dois equipamentos, comprovou-se que os resultados obtidos nestes equipamentos apresentaram melhorias nos valores de OEE. Outro resultado percebido está relacionado à sistematização de reuniões de análise de OEE desenvolvidas por equipes multifuncionais difundindo, na empresa, uma cultura pela busca da causa raiz dos problemas.

Palavras-Chave: Eficiência Global, OEE – *Overall Equipment Effectiveness*, Manutenção, TPM – *Total Productive Maintenance*

ABSTRACT

The following dissertation aims at describing and analyzing the use of OEE (Overall Equipment Effectiveness) indicator both as a management tool and as a way to continuously improve pieces of equipment. Its main propose is to develop OEE indicator in pieces of equipment applied to automotive industry, describing the calculation formula and the losses involved. This paper revisits the concept of TPM – Total Productive Maintenance, methodology from which OEE indicator has been originated, analyzing the original model developed by Nakajima (1993) and a more current model presented by Shirose (1996). The models of CUBES – Capacity Utilization of Bottleneck Equipment System – global effectiveness calculation developed by Jeong and Phillips (2001) as well as the model TEEP – Total Effectiveness Performance – developed by Hansen (2002) also made part of the bibliography and references review. Based on the study of case developed in two pieces of equipment, it has been proved that the results obtained from it showed improved values of OEE. Another result is related to the systematization of OEE's analysis meetings carried out by multifunctional teams that have spread a culture of searching the root cause of the problems in the company.

Key Words: Overall Efficiency, OEE – Overall Equipment Effectiveness, Maintenance, TPM – Total Productive Maintenance

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Comentários Iniciais	14
1.2 Tema e Objetivos	16
1.3 Justificativa para o Tema e Objetivos	16
1.4 Método de Trabalho	19
1.5 Delimitações do Trabalho	19
1.6 Estrutura do Trabalho	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 A Manutenção Produtiva Total	22
2.2 Sistema Toyota de Produção	31
2.3 Teoria das Restrições	37
2.4 As Perdas Relacionadas ao Equipamento e o Cálculo do OEE	39
2.5 As Perdas do Sistema de Produção e o Cálculo do OEE	49
2.6 Tipologia de Paradas de Equipamentos e Métodos de Coleta de Dados	52
2.7 Os Métodos de Cálculo de Eficiência Cubes e Teep	59
3 GKN DO BRASIL LTDA	68
3.1 Histórico da Empresa	68
3.2 Produtos	70
3.3 Metodologias e Ferramentas	71
3.4 Estrutura Fabril	75
3.5 Implantação do Indicador de OEE na GDB	80
3.5.1 Tipologia de Parada de Equipamentos e Coleta de Dados	81
3.5.2 A Tipologia de Paradas e as Perdas do Cálculo de OEE	84
4 ESTUDO PRÁTICO	88
4.1 Introdução	88
4.2 Estudo de Caso 1 “Célula Monobloco”	89
4.2.1 Produto	89
4.2.2 Fluxo Produtivo	90
4.2.3 Características dos Equipamentos	92
4.2.4 Identificação do Gargalo	92
4.2.5 Análise do OEE do Gargalo	93
4.2.6 Análise de Disponibilidade	94
4.2.7 Análise de Performance	98
4.2.8 Análise de Qualidade	100

4.3 Estudo de Caso 2 “Célula Tulipa”	101
4.3.1 Produto.....	101
4.3.2 Fluxo Produtivo	101
4.3.3 Características dos Equipamentos	103
4.3.4 Identificação do Gargalo.....	103
4.3.5 Análise do OEE do Gargalo	103
4.3.6 Análise de Disponibilidade.....	104
4.3.7 Análise de Performance	110
4.3.8 Análise de Qualidade	110
4.4 Percepção das Pessoas Envolvidas com o Indicador OEE	111
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
5.1 Conclusões.....	115
5.2 Sugestões para Pesquisas Futuras	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXO A – GRÁFICOS DE EFICIÊNCIA GLOBAL	123
APÊNDICE A – DADOS DO ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE DO GARGALO DA CÉLULA DE MONOBLOCO.....	126
APÊNDICE B – DADOS DO ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE DO GARGALO DA CÉLULA DE TULIPA.....	130

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Número de fábricas com premiação <i>TPM Award</i>	26
Figura 2: As doze etapas de implementação da TPM	29
Figura 3: Os pilares de sustentação da TPM	30
Figura 4: Relacionamento entre as entradas e saídas nas atividades de produção.	31
Figura 5: Diferença entre perdas crônicas e perdas esporádicas	41
Figura 6: Relacionamento entre o OEE e seus índices e perdas	44
Figura 7: Cálculo de eficiência global de um equipamento	46
Figura 8: Modelo de cálculo do OEE.....	47
Figura 9: 16 Grandes perdas nas atividades de produção industrial	53
Figura 10: Formulário para coleta manual de dados e motivos de parada	58
Figura 11: Modelo de cálculo do CUBES “OEE1”	62
Figura 12: Modelo de cálculo do CUBES – OEE2.....	63
Figura 13: Divisões que compõem o seguimento GKN Automotive.....	68
Figura 14: Componentes do semi-Eixo Homocinético (SEH).....	71
Figura 15: Produção anual de Semi-eixos GDB	73
Figura 16: Aumento da variedade de itens em produção na GDB.....	74
Figura 17: Histórico dos programas de qualidade GDB	75
Figura 18: Estrutura fabril organizada em unidades de manufatura	76
Figura 19: Administração da manutenção descentralizada	79
Figura 20: Administração da manutenção mista.....	80
Figura 21: Formulário para registro de paradas (Diário de Bordo).....	82
Figura 22: Tipologia de parada de equipamentos	83
Figura 23: Relacionamento entre o OEE e seus índices e perdas	84
Figura 24: Relacionamento entre as perdas e os motivos de parada.....	85

Figura 25: Modelo de cálculo do OEE.....	86
Figura 26: Comparativo da OEE de um equipamento com e sem as perdas por gestão	87
Figura 27: Fluxograma de fabricação da Ponteira Monobloco	91
Figura 28: Evolução do indicador de OEE da operação gargalo da célula de Monobloco	93
Figura 29: Evolução do índice de disponibilidade da operação gargalo da célula de Monobloco	94
Figura 30: Parada pelo motivo de Falta de peças.....	95
Figura 31: Parada pelo motivo de manutenção corretiva preventiva	95
Figura 32: Parada pelo motivo de manutenção corretiva mecânica.....	96
Figura 33: Parada pelo motivo de regulagem de máquina	96
Figura 34: Parada pelo motivo de <i>setup</i>	97
Figura 35: Frequência de <i>setup</i>	97
Figura 36: Evolução do índice de performance da operação gargalo da célula de Monobloco	98
Figura 37: Evolução das perdas do índice de performance de performance.....	99
Figura 38: Evolução do índice de qualidade da operação gargalo da célula de Monobloco	101
Figura 39: Fluxograma de fabricação da Ponteira Tulipa	102
Figura 40: Evolução do indicador de OEE da operação gargalo da célula de Tulipa.....	104
Figura 41: Evolução do índice de disponibilidade da operação gargalo da célula de Tulipa	104
Figura 42: Parada pelo motivo de manutenção corretiva mecânica.....	105
Figura 43: Parada pelo motivo de manutenção corretiva eletrônica	106
Figura 44: Parada pelo motivo de manutenção preventiva	106
Figura 45: Parada pelo motivo de regulagem de máquina	107
Figura 46: Parada pelo motivo de Falta de peças.....	108
Figura 47: Comparativo da OEE de um equipamento com e sem as perdas por gestão	108
Figura 48: Parada pelo motivo de <i>setup</i>	109
Figura 49: Frequência de <i>setup</i>	109

Figura 50: Evolução do índice de performance da operação gargalo da célula de Tulipa.....	110
Figura 51: Evolução do índice de qualidade da operação gargalo da célula de Tulipa.....	111
Figura 52: Eficiência Global por Dia	124
Figura 53: Eficiência Global por Produto	125
Figura 54: Perdas por disponibilidade do mês de janeiro 2004	126
Figura 55: Perdas por disponibilidade do mês de fevereiro 2004	127
Figura 56: Perdas por disponibilidade do mês de março 2004	127
Figura 57: Perdas por disponibilidade do mês de abril 2004	128
Figura 58: Perdas por disponibilidade do mês de maio 2004	128
Figura 59: Perdas por disponibilidade do mês de junho 2004	129
Figura 60: Perdas por disponibilidade do mês de julho 2004	129
Figura 61: Perdas por disponibilidade do mês de janeiro 2004	130
Figura 62: Perdas por disponibilidade do mês de fevereiro 2004	131
Figura 63: Perdas por disponibilidade do mês de março 2004	131
Figura 64: Perdas por disponibilidade do mês de abril 2004	132
Figura 65: Perdas por disponibilidade do mês de maio 2004	132
Figura 66: Perdas por disponibilidade do mês de junho 2004	133
Figura 67: Perdas por disponibilidade do mês de julho 2004	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de Automóveis Brasil x Países Desenvolvidos	14
Tabela 2: As quatro etapas do desenvolvimento da PM	23
Tabela 3: Características e diferenças entre TPM e PM Estilo Americano	24
Tabela 4: Metas de melhoria para perdas	43
Tabela 5: Resultados da pesquisa de percepção referente à implantação do indicador OEE.....	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 Comentários Iniciais

Os efeitos da globalização estão trazendo grandes mudanças para o mercado automobilístico brasileiro. Tem-se notado uma constante redução no tempo de vida útil dos produtos, no *lead-time* (tempo de atravessamento) de fabricação e no aumento dos níveis de qualidade dos mesmos. A indústria automotiva brasileira está entre os segmentos mais afetados, já que a diversidade de produtos e os lotes de produção cada vez menores diferenciam-na de outros países. Atualmente, o Brasil encontra-se na décima posição mundial na produção de automóveis, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Produção de Automóveis Brasil x Países Desenvolvidos

Ano	1º EUA	2º Japão	3º Alemanha	10º Brasil
1993	10864000	11228000	3991000	1391000
1994	12254000	10554000	4356000	1581000
1995	12065000	10196000	4667000	1629000
1996	11859000	10347000	4843000	1804000
1997	12158000	10975000	5023000	2070000
1998	12003000	10050000	5727000	1586000
1999	13025000	9895000	5688000	1357000
2000	12800000	10141000	5527000	1691000
2001	11425000	9777000	5692000	1817000
2002	12280000	10257000	5469000	1792000
2003	12078000	10286000	5507000	1827000

Fonte: Anais Sindipeças, 2004

Diferentemente de outros países, como EUA, Japão e Alemanha, que estão à frente do Brasil na produção de automóveis, o mercado brasileiro possui características econômicas relacionadas aos custos dos equipamentos de usinagem comparados aos custos de mão-de-obra. No Brasil, os custos de depreciação horária dos equipamentos são em média maiores que os custos de mão-de-obra. No Japão, por exemplo, esta relação entre os custos de depreciação dos equipamentos e os custos de mão-de-obra se comporta de maneira contrária ao Brasil. Deste modo, o parque industrial brasileiro, com sua capacidade instalada próxima ou, algumas vezes, menor que a demanda, necessita de alta flexibilidade de recursos para maximizar sua utilização. Esta característica não ocorre em países desenvolvidos, onde a ociosidade dos equipamentos normalmente é alta por definição estratégica.

Todos estes fatores colocam a indústria brasileira de autopeças na vanguarda da corrida por soluções inovadoras, sofrendo pressões na relação cliente-fornecedor para buscar continuamente novas formas de gestão que permitam a sua sobrevivência (CHECOLI e MONTEIRO, 2000).

Slack (2002) destaca que somente através de uma função de manufatura saudável é possível cumprir as metas e objetivos estratégicos definidos pela organização. Sendo assim, a adequada utilização dos ativos fixos das empresas, componentes importantes da função de manufatura, deve ser priorizada.

Deste modo, faz-se necessário que as empresas brasileiras busquem melhorar continuamente a eficiência dos equipamentos, identificando e eliminando as perdas e, conseqüentemente, reduzindo os custos de fabricação. É crucial destacar a importância da identificação das perdas, devido à dificuldade de interpretação por parte das empresas de como realmente elas se caracterizam e se apresentam. Dificuldade esta que pode desencadear ações que não estarão direcionadas às perdas mais significativas e, desta forma, farão com que não sejam obtidos os resultados esperados.

1.2 Tema e Objetivos

Este trabalho aborda o estudo da Eficiência Global de Equipamentos, como forma de gestão e monitoramento da melhoria contínua dos mesmos em uma empresa do ramo automobilístico do Rio Grande do Sul. A eficiência global é utilizada na metodologia TPM – *Total Productive Maintenance*, onde é proposto um indicador conhecido na literatura internacional como OEE - *Overall Equipment Effectiveness*.

O objetivo principal consiste em estudar e desenvolver o indicador de Eficiência Global de Equipamentos aplicado à indústria automobilística, definindo os índices que compõem o cálculo de eficiência. A eficiência deve ser avaliada considerando tanto as perdas existentes nos equipamentos, conforme a metodologia TPM, quanto as perdas por gestão, que se caracterizam por perdas não associadas diretamente ao equipamento, porém impedem que este permaneça em produção. São exemplos de perdas por gestão as paradas de produção em decorrência de falta de matéria-prima, falta de ferramental, falta de operador, entre outros.

Como objetivos secundários, busca-se determinar uma tipologia de paradas dos equipamentos que considere todas as interrupções possíveis dos mesmos, relacionando-as com as perdas e esclarecendo a forma de coleta de dados no chão de fábrica.

Por fim, este trabalho pretende discutir, através de um estudo de caso, como a eficiência global pode auxiliar na melhoria contínua dos equipamentos, através de análises sistemáticas dos índices de disponibilidade, performance e qualidade.

1.3 Justificativa para o Tema e Objetivos

A principal justificativa para o tema proposto está apoiada na dificuldade de analisar as reais condições atuais de utilização dos recursos produtivos. Estas dificuldades tendem a

impedir a adequada utilização dos recursos produtivos (ativos empresariais) que, no contexto do mercado brasileiro, comparado à Europa, aos Estados Unidos e Japão, tem caráter estratégico na busca da redução de custos dos produtos, bem como na melhoria e manutenção da produtividade econômica.

A utilização do indicador OEE, conforme proposto pela metodologia TPM, permite que as empresas analisem as reais condições da utilização de seus ativos. Estas análises das condições ocorrem a partir da identificação das perdas existentes nos equipamentos, envolvendo índices de disponibilidade, performance e qualidade.

A medição da Eficiência Global de Equipamentos pode ser aplicada de diferentes formas e objetivos na fábrica. O OEE permite a partir de uma medição simplificada, indicar áreas onde devem ser desenvolvidas melhorias (JONSSON e LESSHAMMAR, 1999), bem como pode ser utilizado como “*benchmark*“, permitindo quantificar as melhorias desenvolvidas nos equipamentos, células ou linhas de produção ao longo do tempo. A análise do OEE e *output* de um grupo de máquinas de uma linha ou célula de manufatura nos permite identificar o recurso com menor eficiência, possibilitando, desta forma, focalizar esforços neste recurso.

A determinação da capacidade dos equipamentos objetivando o planejamento de linhas ou células de manufatura é normalmente definida a partir dos tempos de ciclo de engenharia (teóricos) e das paradas de máquina que, em geral, são tabeladas. Essas paradas tabeladas englobam necessidades fisiológicas, reuniões, manutenções, entre outras. A realidade da fábrica se comporta diferentemente do tabelamento de paradas e dos tempos de ciclo teóricos: a variabilidade, envolvendo pessoas, máquinas, dispositivos, matéria-prima, resulta em planejamentos inconsistentes, que podem culminar no não-atendimento dos pedidos dos clientes.

A medição da Eficiência Global permite analisar os equipamentos como eles se

comportam na realidade. Assim, é possível enxergar as perdas envolvidas, resultante das variabilidades existentes no equipamento e ao seu redor. Deste modo, pode-se avaliar a capacidade dos equipamentos levando em conta a influência de todas as perdas relativas à Disponibilidade, Performance e Qualidade. Este tipo de análise permite envolver todos os Departamentos, sejam eles diretos ou indiretos, na identificação e eliminação das perdas.

A Eficiência Global de Equipamentos (OEE) é uma medição que procura revelar os custos escondidos na empresa (NAKAJIMA, 1989). Antes do advento do OEE, somente a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, o que resultava no superdimensionamento de capacidade (LJUNGBERG, 1998).

A Eficiência Global de Equipamentos, considerada como a evolução métrica do processo TPM, é mensurada a partir da estratificação das seis grandes perdas e calculada através do produto dos índices de Disponibilidade, Performance e Qualidade (NAKAJIMA, 1989).

A identificação das perdas é a atividade mais importante no processo de cálculo do OEE, o qual está associado diretamente ao entendimento que a empresa possui sobre as mesmas. A limitação da empresa em identificar suas perdas impede que se atue no restabelecimento das condições originais dos equipamentos, garantindo alcançar a eficiência global, conforme estabelecido quando o equipamento foi adquirido ou reformado.

A utilização do indicador OEE vai além da determinação de um número que retrate a eficiência de um equipamento. O OEE permite, através do seu desdobramento, identificar onde se encontram os potenciais de melhoria de eficiência na fábrica. Esses potenciais de melhoria estão associados às perdas existentes no equipamento que, se analisadas de maneira adequada, indicarão a direção de atuação que as equipes de trabalho deverão seguir para obter continuamente o aumento da eficiência dos equipamentos.

A análise do OEE permite, desta forma, envolver todas as áreas da empresa por meio

de um indicador, auxilia a liderança na administração dos recursos de suas áreas de negócio, bem como equaliza os esforços da equipe em busca do aumento da eficiência Global.

1.4 Método de Trabalho

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão foi feito em quatro etapas. A primeira etapa envolve uma revisão bibliográfica sobre a metodologia TPM, STP “Sistema Toyota de Produção”, Teoria das Restrições TOC “*Theory of Constraints*” e o indicador de OEE.

A segunda etapa envolveu uma proposta de tipologia de paradas de equipamentos, envolvendo as perdas dos equipamentos e as perdas por gestão, considerando as necessidades e as características do setor automotivo.

A terceira etapa contempla um estudo de caso realizado em uma empresa do setor automotivo, em dois equipamentos gargalos em uma unidade de negócio, a partir da análise do indicador OEE. Ainda nesta etapa, foi desenvolvida uma pesquisa junto à equipe envolvida na operação, manutenção, liderança e gerência do equipamento. Esta pesquisa procurou discutir as vantagens, limitações e dificuldades no uso do OEE como indicador para gestão e melhoria contínua de equipamentos.

A última etapa discutiu o desempenho do equipamento antes e depois da utilização do indicador OEE, com base tanto nos resultados numéricos (análise quantitativa) como na percepção da equipe envolvida.

1.5 Delimitações do Trabalho

Este trabalho de conclusão aborda a utilização do indicador OEE, originário da metodologia TPM, em uma indústria de manufatura Metal-Mecânica do ramo

automobilístico.

São analisadas todas as perdas que compõem o cálculo de eficiência de equipamentos de manufatura, bem como as perdas por gestão, não incluindo equipamentos com características de processamento contínuo. As perdas relativas aos equipamentos não são tratadas no contexto de levantamento de custos.

Os métodos de coleta de dados relativos aos motivos de paradas, divididos em manual e automático, são abordados comparativamente. Porém, o método manual é abordado em maior profundidade por se tratar do método atualmente utilizado na empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso.

O estudo de caso é desenvolvido em dois equipamentos gargalos em uma unidade de negócio, envolvendo equipes de trabalho compostas por funcionários das áreas de produção, manutenção, engenharia, entre outras áreas ligadas.

As ferramentas utilizadas na melhoria do equipamento, a partir do estudo do OEE, não são abordadas em profundidade por não se tratar do foco principal deste estudo.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentado o tema do trabalho de conclusão, bem como sua justificativa, discutindo-se a importância da utilização do indicador OEE na gestão e melhoria contínua dos equipamentos. Este capítulo também aborda os objetivos, o método, as limitações e a estrutura do trabalho desenvolvido.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o indicador OEE quanto à sua origem, através da descrição da metodologia TPM e de sua aplicabilidade no controle e melhoria dos ativos fixos, bem como conceitua o STP “Sistema Toyota de Produção” e a

Teoria das Restrições TOC “*Theory of Constraints*”.

O capítulo 3 apresenta a empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso, descrevendo o ramo de negócio, o produto, a estrutura fabril, sua participação no mercado, bem como a evolução histórica das técnicas e ferramentas utilizadas pela empresa.

São apresentadas também as seis grandes perdas dos equipamentos que compõem a estrutura do cálculo deste indicador baseado na sua proposta original, bem como, sob novos focos de aplicações, a tipologia de paradas dos equipamentos e os métodos de coletas de dados no chão de fábrica. Este capítulo ainda discute as perdas por gestão que também afetam o equipamento, as quais não são tratadas explicitamente pela TPM. Por fim, é apresentado como os motivos de parada dos equipamentos (tipologia) estão relacionados às seis grandes perdas da TPM, incluindo as perdas por gestão aos equipamentos.

O capítulo 4 apresenta as duas células de manufatura nas quais foi realizado o estudo de caso. São apresentados o produto, o fluxo produtivo, os equipamentos, a identificação do gargalo e os resultados obtidos no período estudado. Por fim, é demonstrado o resultado da pesquisa de percepção aplicada a alguns gerentes e chefias, referente à implantação do indicador de OEE.

O capítulo 5 apresenta as conclusões da pesquisa realizada, propondo sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total, ou TPM (*Total Productive Maintenance*), é uma metodologia de gestão industrial que foi mundialmente disseminada por Seiichi Nakajima. Através da publicação de dois livros que abordam o processo de implementação da metodologia TPM, “TPM Tenkai”, em 1982 e “TPM Nyumon”, em 1984, Nakajima descreve a introdução da metodologia TPM. Ambos os livros foram publicados pelo *Japan Institute of Plan Maintenance* (JIPM), do qual Nakajima foi vice-presidente e, posteriormente, editados nos idiomas inglês e espanhol.

Após a Segunda Guerra Mundial, as empresas japonesas, com o objetivo de melhorar a qualidade de seus produtos e tornarem-se competitivas nos mercados mundiais, importaram da Europa e dos Estados Unidos da América métodos de gerenciamento de fábricas e técnicas de manufatura (NAKAJIMA, 1993; TAKAHASHI Y. e OSADA, 1993).

Dentre as várias técnicas importadas, a manutenção preventiva, conhecida pela sigla PM (*Preventive Maintenance*¹), foi espalhada por todo o Japão nos anos 50. No decorrer dos anos 60, outras técnicas foram reunidas à manutenção preventiva: manutenção pós-quebra, ou

¹ Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT NBR 5462-1994) (BELTRANO FILHO, 1996).

BM (*Breakdown Maintenance*²) manutenção para melhoria, CM (*Corrective Maintenance*³), e prevenção da manutenção, MP (*Maintenance Prevention*⁴), também chamada *Maintenance-free-design*. Esta última, por ser orientada para reforma e aquisição de novos equipamentos como para engenharia de confiabilidade, engenharia de manutenibilidade e engenharia econômica, acabou originando um novo método, chamado de Manutenção Produtiva, ou PM (*Productive Maintenance*). Antes deste período, as indústrias japonesas, em sua maioria, praticavam as intervenções de manutenção pós-quebra.

A tabela 2 ilustra as quatro fases de desenvolvimento da PM no Japão.

Tabela 2: As quatro etapas do desenvolvimento da PM

Fase 1	Manutenção pós quebra
Fase 2	Manutenção Preventiva
Fase 3	Manutenção Produtiva
Fase 4	TPM

Fonte: Adaptado de Nakajima, 1993, p. 10

As técnicas de manutenção americanas citadas acima foram adaptadas de modo a ajustarem-se à cultura das empresas japonesas. A partir desta adaptação, originou-se, em 1971, a TPM, ou *Total Productive Maintenance* (NAKAJIMA, 1989 e 1993; SHIROSE, 1992 e 2000).

Magard (1992) *apud* Dias (1997), destaca que a Manutenção Produtiva Total (MPT), tradução para o português da sigla TPM, foi cunhada inicialmente pela *General Electric*, no

² Também conhecida como Manutenção Corretiva ou Pós-quebra Tipo de manutenção efetuada em um item quando a falha já ocorreu, restituindo-lhe a condição admissível de utilização (BELTRANO FILHO, 1996).

³ É um método de manutenção designado para sistematicamente e positivamente retificar (material e forma) partes insatisfatórias existentes nos equipamentos, de modo a melhorar a confiabilidade, manutenibilidade, e segurança; para reduzir a deterioração e falhas; e alcançar um equipamento que não requeira manutenção (SHIROSE, 1996).

⁴ Prevenção da manutenção é o conjunto de medidas para evitar as ocorrências de manutenção. Sua aplicação é ampla e parecida com o critério de “Prevenção de Acidentes”. Medidas de seleção de melhores materiais, de melhores métodos de trabalho, de operação e manutenção. Diversas outras medidas também afetam este campo, como treinamento de operadores, do pessoal da manutenção, em nível de execução e de gerência. Especificação correta de equipamentos, na compra é uma medida de prevenção de ocorrência de manutenção (BELTRANO FILHO, 1996).

início dos anos 50, com o significado de Manutenção Totalmente Produtiva. Esta iniciativa, porém, foi negligenciada pela matriz da empresa nos Estados Unidos.

Nakajima (1989) destaca que o estilo de manutenção americano pregava a divisão taylorista das tarefas entre as equipes de manutenção e operação, enfatizando a postura da operação na qual descreve “Eu opero, você conserta”. No entendimento japonês, todos os funcionários podem participar e a TPM deve ser implementada por todos. A inovação trazida pela TPM está no fato de atribuir aos operadores atividades básicas de manutenção nos seus equipamentos. A partir deste momento, as áreas de manutenção passam a ser alimentadas de informações por parte dos operadores no que se refere a anomalias ou sintomas estranhos apresentados por seus equipamentos, permitindo que intervenções sejam executadas para prevenir a quebra ou a falha do equipamento (SHIROSE, 2000). Algumas características e diferenças entre o PM estilo americano e TPM desenvolvido no Japão são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Características e diferenças entre TPM e PM Estilo Americano

Nº	Estilo	Aspectos
1	Característica do TPM	O TPM é designado para perseguir a melhoria global da eficiência dos sistemas de produção para atingir o maior grau possível. A eficiência da produção é maximizada pela melhoria dos métodos de manufatura, usinagem e preservação do equipamento.
	PM estilo Americano	Centrada nos especialistas em equipamentos. Consequentemente, mesmo o PM estilo americano buscar maximizar a eficiência dos equipamentos pela melhoria na manufatura e manutenção dos equipamentos, não atenta para a melhoria global da eficiência da produção considerando métodos eficientes de utilização do equipamento.
2	Característica do TPM	A característica do TPM é "Jishu-Hozen pelo operador" (os operadores devem preservar e manter seus próprios equipamentos). - manutenção rotineira (limpeza, lubrificação, apertos, inspeções, etc.) esta sob a responsabilidade dos operadores, enquanto que inspeções no equipamento (diagnósticos), reparos são cuidados pelo staff de especialistas de manutenção.
	PM estilo Americano	No PM estilo americano, os operadores estão dedicados para produção (operação), enquanto que todo trabalho da manutenção, incluindo rotinas de manutenção, inspeção, e reparos é de responsabilidade do staff da manutenção.
3	Característica do TPM	TPM descreve atividades de pequenos grupos nos quais todos membros participam. Isto significa pequenos grupos unificados com a organização formal, para ter a participação por todos membros, abrangendo desde a alta direção, níveis intermediários, e o staff da linha de frente. Isto é chamado "atividades de pequenos grupos sobrepostos"
	PM estilo Americano	No PM estilo americano, não existe a implementação de atividades de pequenos grupos com a participação de todos os membros.

Fonte: Shirose, 2000, p. 3

A Nippondenso, empresa do grupo Toyota fornecedora de componentes elétricos automotivos, introduziu as técnicas de manutenção preventiva (PM) em 1961. Foram obtidos bons resultados, atribuídos à implementação do *Total-member-participation (TPM)*, cuja abreviação era TPM, os quais foram reconhecidos em 1971 pelo prêmio “PM Award” até então avaliados sob o foco do estilo americano. Este prêmio foi entregue pela JIPE, “*Japanise Institute of Plant Engineers*”, precursor do JIPM, “*Japanise Institute of Plant Maintenance*”. A partir de então, o prêmio “PM Award” passou a ser chamado “TPM Award”, distinguindo as empresas que se destacavam na aplicação da TPM, que se tornou conhecida e aplicada mundialmente no estilo japonês como Manutenção Produtiva Total ou *Total Productive Maintenance* (NAKAJIMA, 1989; SHIROSE, 2000; MIYAKE, 1998; IRELAND e DALE, 2001).

“É apropriado dizer que sem a TPM o Sistema Toyota de Produção não poderia funcionar. O fato de que as companhias relacionadas à Toyota tenham implantado rapidamente a TPM confirma a importância desta no sistema de produção da Toyota” (NAKAJIMA, 1993, p. 17).

Ao longo dos anos, importantes empresas de todo o mundo vêm aplicando a metodologia TPM e sendo reconhecidas pelo prêmio TPM Award, como é apresentado na Figura 1. Suzuki (1994) *apud* Sena (2002) descreve que inicialmente o desenvolvimento da TPM esteve vinculado a indústria automobilística japonesa envolvendo empresas como a Toyota, Nissan e Mazda e seus fornecedores e filiais. Posteriormente a metodologia TPM foi introduzida em outras indústrias como eletrodomésticos, microeletrônica, máquinas ferramentas, plásticos, fotografia, etc.

Empresas brasileiras como a Copene – Petroquímica do Nordeste S/A, Votocel Filmes Flexíveis Ltda (uma fábrica), do grupo Votorantim e Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (seis regionais) receberam a premiação TPM Award. Fábricas instaladas no Brasil

de empresas como a Unilever (quatro fábricas), Tetra Pak Ltda (duas fábricas), Yamaha Motor Brasil (uma fábrica) e Pirelli (duas fábricas) também possuem premiação concedida pela JIPM. A fábrica da Pirelli Pneus localizada na cidade de Santo André-SP foi a primeira fábrica a receber a premiação no Brasil em 1994, enquanto que a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A foi a primeira empresa no mundo a receber este reconhecimento no ramo de produção e transmissão de energia elétrica.

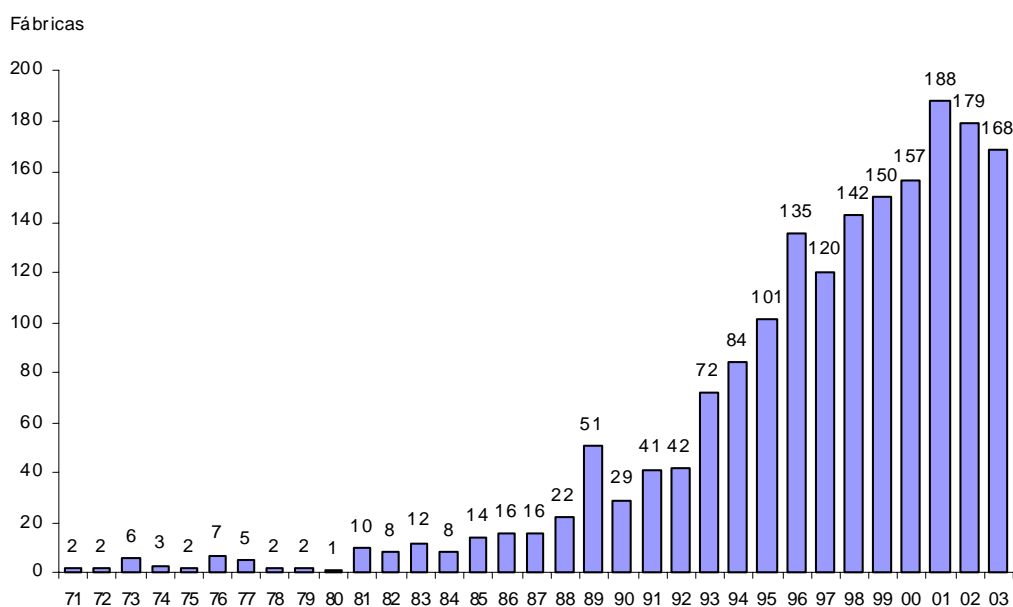


Figura 1: Número de fábricas com premiação TPM Award
Fonte: Shirose, 2000, p. 7 e disponível no site <<http://www.jipm.or.jp>>

A metodologia TPM foi definida originalmente pela JIPM em 1971, baseada na implementação desenvolvida pela empresa Nippondenso (SHIROSE, 2000), tendo como abrangência somente as áreas de produção e apoiada em cinco diretrizes estratégicas (SHIROSE, 1992 e 2000; NAKAJIMA, 1993; RIIS *et al.*, 1997):

- Maximizar a eficiência dos equipamentos (*overall efficiency improvement*);
- Estabelecer um sistema de manutenção produtiva que acompanhe toda a vida do equipamento;

- Envolver todos os departamentos que planejam, projetam, operam ou executam manutenções na implementação da TPM;
- Promover atividades que envolvam todos os funcionários do chão de fábrica a alta administração;
- Utilizar um gerenciamento motivacional através de atividades de pequenos grupos autônomos.

Em 1989, uma nova definição da TPM foi estabelecida pela JIPM com o objetivo de abranger a empresa como um todo, e não somente as áreas de produção, conforme definido no conceito anterior. Esta nova definição, abordada por Shirose (2000), possuía as seguintes características:

- Criar um sistema corporativo que maximize o sistema de produção *overall efficiency improvement*;
- Criar um sistema que previna a ocorrência de todas as perdas nas linhas de produção focalizado no produto final. Isto inclui sistema que resultem “zero acidentes, zero defeitos e zero falhas” em todo ciclo de vida do sistema de produção;
- Aplicar a TPM em todos os setores, incluindo produção, desenvolvimento e os departamentos administrativos;
- Promover atividades que envolvam todos os funcionários do chão de fábrica a alta administração;
- Atingir a perda zero através de atividades sobrepostas de pequenos grupos.

A partir do significado da palavra Total, referenciando o significado da letra T da metodologia TPM, Nakajima (1989) relaciona três características principais. A primeira é a busca da efetividade total relacionada à rentabilidade e eficiência econômica. Em segundo, a prevenção total da manutenção através de atividades de melhoria da manutenibilidade, bem

como da aplicação da manutenção preventiva. Finalmente, a participação total dos funcionários através das atividades de pequenos grupos.

Os resultados esperados pela aplicação da metodologia TPM, conforme Nakajima (1989), são obtidos após três anos, que é o tempo necessário para implementação completa das 12 etapas da metodologia. Estas doze etapas estão distribuídas em três fases: preparação, implementação e estabilização, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

Na etapa dois, aplicam-se os oito princípios do desenvolvimento da TPM: Princípio 1- Desenvolver um programa de Manutenção Autônoma, 2- Desenvolver um programa de Melhoria Específica, 3- Desenvolver um programa de Manutenção Planejada, 4- Desenvolver um programa de Educação e Treinamento, 5- Desenvolver um programa de Controle Inicial, 6- Desenvolver um programa de Manutenção da Qualidade, 7- Desenvolver um programa para aumentar a eficiência das Áreas Administrativas e 8- Desenvolver um programa de controle da Segurança, Saúde e Meio Ambiente (SHIROSE, 2000). Estes princípios são os pilares de sustentação da metodologia, conforme pode ser visto na Figura 3.

Segundo afirma Nakajima:

A meta para as atividades de melhoria de toda a fábrica é aumentar a produtividade pela minimização das entradas e maximização das saídas. As saídas não se referem apenas ao aumento da produtividade, mas também para melhor qualidade, menor custo, melhoria da segurança industrial e higiene, aumento da moral e um ambiente de trabalho mais favorável (NAKAJIMA, 1989, p. 9).

Fase	Passo	Detalhes
Preparação	1 – Anunciar a introdução do TPM pela alta administração	Apresentar o TPM para toda companhia: cartazes, <i>folders</i> , periódico, etc.
	2 – Promover campanhas de treinamento e divulgação para introdução do TPM	Reunir Diretores, gerentes e chefias através de reuniões e seminários. Geral: Sensibilizar todos os funcionários.
	3 – Criar estrutura para promover o TPM	Formar os comitês para a promoção do TPM em todos os níveis da companhia: secretaria TPM e estruturação dos Pilares.
	4 – Promover políticas básicas TPM e metas	Analisar a condição atual da empresa: estabelecer os objetivos e metas.
	5 – Formular plano mestre para desenvolver o TPM	Preparar planos detalhados de implantação do TPM para as cinco atividades fundamentais.
Implementação Preliminar	6 – <i>Kick-off</i> TPM	Convidar clientes, fornecedores e afiliados.
Implementação TPM	7 – Melhorar a eficiência de cada peça do equipamento	Selecionar um equipamento modelo: formar equipe de implantação
	7.1 – Desenvolver um programa de Manutenção Autônoma	Restaurar os equipamentos através de atividades de pequenos grupos “7 etapas”
	7.2 – Desenvolver um programa de Melhoria Específica	Eliminar as grandes perdas “OEE”
	7.3 – Desenvolver um programa de Manutenção Planejada	Promover atividades de Manutenção por melhorias, Preventiva e Preditiva
	7.4 – Desenvolver um programa de Educação e Treinamento	Habilitar os funcionários através de treinamentos e LPP
	8 – Desenvolver um programa de Controle Inicial	Aumentar o Cído do custo de vida dos produtos e equipamentos
	9 – Desenvolver um programa de Manutenção da Qualidade	Eliminar problemas de produto e processo
	10 – Desenvolver um programa para o aumento da eficiência das áreas administrativas	Implantar os 5 “S” e o aumento e eficiência nas áreas de apoio
11 – Desenvolver um programa de controle da Segurança, Saúde e Meio ambiente.	Criação de sistemas para obtenção de zero acidentes e zero casos de poluição	
Estabilização	12 – Implementar de forma completa e aumentar os níveis do TPM	Implementar completamente o TPM, correção de desvios e estabelecimentos de novas metas.

Figura 2: As doze etapas de implementação da TPM

Fonte: Adaptado de Nakajima, 1993, p. 57

Na avaliação dos resultados da aplicação da metodologia TPM, são utilizados indicadores divididos em seis categorias: Produtividade (P), qualidade (Q), custo (C), tempo de entrega (E), segurança/saúde/meio ambiente (S) e moral (M) (SHIROSE, 2000; NAKAJIMA,

1989; TAKAHASHI, OSADA, 1993). Estes indicadores, que são as saídas do sistema, são maximizados a partir da utilização adequada e eficiente das entradas do sistema que são: Homem, Máquina, Material, Dinheiro e Método, conhecidas como os cinco M (*Man, Machine, Material, Money, Method*). As relações entre as entradas e saídas do sistema são apresentadas na Figura 4.

As máquinas têm um papel crucial no aumento e manutenção da produtividade, tendo em vista a utilização crescente da automação e mecanização de atividades originalmente manuais. Desta forma, as máquinas e equipamentos passam a ter um papel fundamental na melhoria do *output* (NAKAJIMA, 1989).



Figura 3: Os pilares de sustentação da TPM
Fonte: Adaptado de Kardec; Nascif, 2001, p. 185

Neste contexto, a melhoria no *output* deve estar apoiada em atividades focalizadas na melhoria de eficiência das máquinas e equipamentos, que é uma das cinco diretrizes estratégicas da TPM, conforme descrito anteriormente. A eficiência de máquinas e equipamentos, conhecida como OEE, será discutida em detalhes neste capítulo.

Entrada Saída	DINHEIRO			MÉTODO
	HOMEM	MÁQUINA	MATERIAL	
PRODUÇÃO (P)	→			Planejamento e Programação da Produção
QUALIDADE (Q)	→			Controle da Qualidade
CUSTO (C)	→			Controle de Custo
DISTRIBUIÇÃO (D)	→			Controle de Entrega
SEGURANÇA (S)	→			Segurança e Poluição
MORAL (M)	→			Relações Humanas
	Alocação de Mão-de-obra	Manutenção Produtiva	Controle de Estoque	Produtividade = $\frac{\text{Output}}{\text{Input}}$

Figura 4: Relacionamento entre as entradas e saídas nas atividades de produção

Fonte: Adaptado de Nakajima, 1989, p. 9

2.2 Sistema Toyota de Produção

A história do Sistema Toyota de Produção (STP) tem sua origem estabelecida muito antes da fundação da *Toyota Motors Company*. A Toyota fazia parte de mais um dos empreendimentos de um grupo empresarial têxtil formado pelas empresas *Toyoda Spinning & Weaving Works Ltd* (1918) e *Toyota Automatic Loom Works Ltd* (1926), ambas fundadas por Sakichi Toyoda (GHINATO, 1996).

Sakichi Toyoda, considerado um gênio da Engenharia, patenteou inúmeras invenções, entre elas, o mecanismo de parada automática em teares (GHINATO, 1996). Em 1929, Sakichi Toyoda vendeu o direito de uma de suas patentes de teares automáticos para a empresa *Platt Brothers Corporation Ltd* do Reino Unido. O dinheiro obtido através desta negociação foi investido no desenvolvimento e testes do primeiro automóvel Toyota. (Disponível no site <<http://www.toyota.co.jp/IRweb/corpinfo/history/main.html>>).

A Toyota Motor Company foi fundada em 1937 por Kiichiro Toyoda (GHINATO, 1996). Em suas linhas de produção, foram aplicadas as idéias e técnicas desenvolvidas nos teares da Toyoda, cuja evolução levou ao STP na década de 60, tendo como seu principal mentor Taiichi Ohno, vice-presidente da Toyota (ALVES, 2001).

Ohno (1997) descreve que, em 1937, a partir de informações de produtividade comparando trabalhadores americanos e alemães, onde a razão era de 1 para 3, razão semelhante aos alemães comparados com os japoneses, ficou surpreso ao constatar que eram necessários nove trabalhadores japoneses para realizar o trabalho de um americano. Segundo Ghinato (1996), analisando estes fatos, Ohno percebeu que a diferença de produtividade entre os trabalhadores americanos e japoneses não era causada por esforços físicos adicionais, mas resultado de trabalhos inúteis que estariam sendo realizados pelos trabalhadores japoneses. Apoiado nesta constatação e com a perda da Guerra em 1945, Kiichiro Toyoda, então presidente da *Toyota Motor Company*, colocou como meta alcançar os Estados Unidos em 3 anos. O Sistema Toyota de Produção teve início a partir desta necessidade, tendo como base a eliminação absoluta dos desperdícios, os quais, segundo Womack *et al.* (1992), estão divididos em desperdícios de esforço, materiais e tempo.

Ohno (1997) enfatiza que a estrutura básica do STP foi realizada porque sempre havia propostas e necessidades claras, o que era apoiado em sua convicção de que “a necessidade é a mão da invenção”.

A crise do petróleo que quadruplicou o preço do petróleo cru entre 1970 e 1974 e provocou abalos econômicos mundiais levou à escassez generalizada dos derivados deste, especialmente nos setores industriais (SCHONBERGER, 1993). Ohno (1997) destaca que, neste período, em razão de estar conseguindo manter seus ganhos apesar da crise, diferentemente das demais, a *Toyota Motor Company* atraiu as atenções de outras companhias, trazendo à tona a potencialidade do sistema de produção da Toyota (GHINATO, 1996).

Segundo Ohno (1997), a palavra eficiência, utilizada freqüentemente ao falar de produção, gerência e negócios significam, na indústria moderna e nas empresas em geral, a redução de custos, única maneira de se obter lucro. A partir desta idéia, Ohno aplica o princípio de custos, que Shingo (1996) chama de “subtração do custo”, formulando que o preço de venda = lucro + custo real, transferindo, deste modo, todos os custos ao consumidor. Onde parte desses custos está associada aos desperdícios existentes nas empresas. Este princípio que responsabiliza os clientes não se adapta às necessidades atuais da indústria automobilística, que busca a competitividade de seus produtos.

A busca pela redução dos custos deve ser perseguida pelas empresas, pois, deste modo, é possível praticar preços atraentes aos clientes, mantendo ou aumentando os lucros, garantindo a sua sobrevivência no mercado atual. Assim, ao atender a este princípio, teremos então que o lucro = preço de venda – custo (SHINGO, 1996).

O Sistema Toyota de Produção tem, em sua base de sustentação, dois pilares, o *Just-in-time* (JIT) e a automação ou automação com toque humano (OHNO, 1997).

Just-in-time é um meio de eliminar perdas devido aos estoques, através da eliminação das perdas por superprodução. O JIT tem como objetivo atender os clientes, produzindo o necessário, quando necessário, somente na quantidade necessária (OHNO, 1997; SHINGO, 1996).

Fabricar e entregar produtos apenas a tempo de ser vendidos, submontá-los apenas a tempo de montá-los nos produtos acabados, fazer peças apenas a tempo de entrar nas submontagens e, finalmente, adquirir materiais apenas a tempo de ser transformados em peças fabricadas. [...] a indústria japonesa fabrica pequenas quantidades ‘apenas a tempo de utilizar’ e a indústria ocidental fabrica quantidades maciças ‘apenas para o caso de precisar’ (SCHONBERGER, 1993, p. 13).

Ohno (1997) afirma que empresas que consigam estabelecer este fluxo poderão alcançar uma condição de inventário zero.

A automação, segundo pilar do Sistema Toyota de Produção, consiste em atribuir aos operadores e máquinas a autonomia de interromper a operação quando ocorrerem anomalias na máquina ou produto, ou quando a quantidade planejada de produção for atingida. Com esta autonomia, não é mais necessário a presença de operadores acompanhando a máquina durante a operação, permitindo que um operador opere mais de uma máquina, a exemplo do que ocorria nos teares da Toyota *Spinning & Weaving*, onde um operador era responsável por mais de 40 teares automáticos (OHNO, 1997). O que representa, segundo Ghinato (1996), o rompimento da lógica Taylorista de um homem, um posto, uma tarefa, princípio dos tempos alocados ou impostos, substituindo-os por tarefas múltiplas em padrões de tempo e trabalho flexíveis.

A operação de várias máquinas somente é possível através de operadores multifuncionais que, segundo Shingo (1996), significa que, enquanto o operador remove a peça pronta, fixa uma nova peça em uma máquina para ser processada e dá o início de ciclo, as outras máquinas de responsabilidade deste operador estarão em funcionamento, repetindo estas operações seqüencialmente, assim que as máquinas encerram os seus ciclos.

Segundo Ohno (1997), a análise e eliminação total dos desperdícios passam pelo aumento da eficiência, que só terá resultado quando estiver associada à redução de custos, e pela análise da eficiência de cada operador e linha de produção.

De modo a orientar o processo de análise dos desperdícios, entendido por Ohno (1997) como uma etapa preliminar para a aplicação do STP, Ohno (1997) definiu sete desperdícios. Desperdícios estes chamados por Shingo (1996) como “as sete perdas” que, se eliminadas, conduziriam à redução dos custos, obtendo-se assim a melhoria na eficiência (OHNO, 1997).

As sete perdas definidas por Ohno são:

1. Perda por “Superprodução”: Considerada por Ohno (1997) como o maior inimigo,

por ocultar outras perdas, caracteriza-se pela produção em quantidades acima do programado ou antecipadamente (SHINGO, 1996);

2. Perda de tempo disponível ou “Espera”: Esta perda origina-se do desperdício de tempo no qual não há execução de um processo ou operação por parte dos operadores ou máquinas;
3. Perda por “Transporte”: Segundo Shingo (1996), os procedimentos de transporte devem ser minimizados ou eliminados, por não agregarem valor. Melhorias neste sentido devem ser direcionadas primeiramente para alterações de layout, sob o foco do fluxo de produção e, posteriormente, nos transportes relacionados às operações (GHINATO, 1996);
4. Perda por “Processamento em si”: Ghinato (1996) descreve esta perda como parcelas relativas ao processamento que, se eliminadas, não afetariam as características e funções essenciais do produto ou serviço. As melhorias para a eliminação desta perda devem estar voltadas à Engenharia de Valor e Análise de Valor (SHINGO, 1996);
5. Perda por “Movimentação”: “As perdas por movimentação relacionam-se aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação” (GHINATO, 1996, p. 57). Shingo (1996) sugere, como base para a eliminação desta perda, melhorias a partir do estudo dos tempos e movimentos;
6. Perda por “Estoque”: Segundo Ghinato (1996), as perdas por este motivo são devido à manutenção de estoques de matérias-primas, material em processo e produtos acabados. Ghinato (1996) destaca ainda que a “vantagem” que os estoques proporcionam, entendida pelas empresas ocidentais como um “mal necessário”, amenizando os problemas de sincronia entre os processos, se caracteriza como uma grande barreira para o ataque a estas perdas;

7. Perdas por “Produtos Defeituosos”: American Society for Quality Control (ASQC, 1993) *apud* Ghinato (1996), definindo que a perda por fabricação de produtos defeituosos resulta de produtos fabricados fora das características de qualidade ou fora de padrão requeridos pelos clientes.

A partir da análise das perdas por superprodução, Ohno (1997) faz algumas considerações a respeito da utilização de máquinas de alta velocidade, conhecidas como lebres e de máquinas tartarugas, que são lentas, porém consistentes. Segundo o autor, as máquinas de alta velocidade, erroneamente entendidas como máquinas de alta produtividade, são causadoras de desperdício quando programadas para produzir mais produtos do que é possível vender. Da mesma forma, quando a alta velocidade é obtida forçando as máquinas a trabalharem com velocidades acima de suas características. Essas ações que, em geral, visam evitar quedas de produção promovem a degradação das máquinas, causando, por fim, perdas e não-benefícios como esperado por gerentes e supervisores de produção.

Schonberger (1993) destaca que a utilização de máquinas pequenas, baratas e com finalidades específicas, propicia maior flexibilidade, o que não acontece com a utilização de máquinas universais, ou supermáquinas, oferecidas no mercado. Essas supermáquinas costumam adquirir importância de tal grandeza dentro das empresas, a ponto de determinar as estratégias de produção de modo a manter a máxima utilização possível destes recursos.

O Sistema Toyota de Produção, apoiado nos pilares do JIT e Autonomia, tem sua operacionalização conduzida a partir de técnicas e sistema desenvolvidos ao longo da consolidação deste sistema. Pode-se citar como exemplo o sistema Kanban, Poka-yokes, Troca Rápida de Ferramentas (TRF), Andon, Lay-out em forma de U, flexibilização da mão-de-obra (Shojinka), a busca pela causa raiz dos problemas perguntando-se 5 porquês, entre outros, que, juntos, buscam a completa eliminação das perdas, que é a essência do STP.

2.3 Teoria das Restrições

Eliyahu M. Goldratt tornou-se conhecido após a publicação do livro “A Meta” em 1985, introduzindo os conceitos da TOC “*Theory of Constraints*”, a teoria das restrições, escrito em forma de romance.

Goldratt (1993) define que a meta de uma empresa é ganhar dinheiro hoje e no futuro, através da utilização ótima de seus recursos restritivos. Um recurso restritivo é definido por Cox III e Spencer (1995) como qualquer elemento ou fator que impede que um sistema conquiste um nível melhor de desempenho no que diz respeito a sua meta.

O gerenciamento de restrições (GR) desenvolvido por Goldratt, segundo Cox III e Spencer (2002), é uma nova abordagem que reconhece o papel que representa a restrição no desempenho final do sistema de produção de maneira global. Essa abordagem envolve o planejamento e controle de todas as funções existentes em uma empresa, como *marketing*, produção, vendas, engenharia, entre outras.

Segundo Cox III e Spencer (2002), o sistema de gerenciamento de restrições segue um processo de cinco etapas. Etapas essas que formam a base para o gerenciamento efetivo da produção, permitindo aos gerentes planejar globalmente a produção, focalizando os recursos que representam maior ganho. As cinco etapas desenvolvidas por Goldratt (1990) são:

1^a- Identificar as restrições do sistema: Consiste em identificar a restrição que limita o ganho do sistema como um todo. Cox III e Spencer (2002) destacam que todo o sistema, seja ele de produção ou um sistema biológico, possuirá uma restrição que limitará seu crescimento;

2^a- Decidir como explorar a restrição do sistema: Maximizar a utilização do recurso restritivo. Segundo Cox III e Spencer (2002), “como cada minuto perdido no recurso

crítico é perdido por todo o sistema, é fundamental fabricar o composto de produtos corretos e manter o fluxo para a restrição durante todo o tempo”. Apoiado nesta definição de restrição, Cox III e Spencer (2002) destacam a necessidade de manter o recurso restritivo trabalhando continuamente, sem interrupção. Os autores sugerem cuidados referentes a situações que freqüentemente provocam a parada da restrição, como as paradas para almoço, limpeza, mudança de linha, entre outras, que, se modificadas, acrescentarão mais tempo de processamento, por dia, aos recursos restritivos;

3ª- Subordinar todos os outros recursos à restrição do sistema: Nesta etapa, considerada por Cox III e Spencer (2002) como a de maior dificuldade de implementação, por questionar as práticas tradicionais de engenharia de produção, o gerenciamento dos recursos não-restritivos deve seguir o ritmo do recurso restritivo do sistema;

4ª- Eliminar a restrição do sistema: Consiste em aumentar a capacidade produtiva da restrição. Esse aumento de capacidade pode ser obtido aumentando-se a velocidade do recurso ou acrescentando um novo equipamento ao sistema (COX III e SPENCER, 2002);

5ª- Voltar para a etapa 1 se a restrição for quebrada na etapa 4: O aumento contínuo da capacidade imposto na etapa 4 culminará na quebra do sistema restritivo, surgindo uma nova restrição. Deste modo, deve-se retornar para etapa 1, reiniciando todo o processo, evitando que a inércia interrompa o processo de melhoria contínua do sistema (COX III; SPENCER, 2002).

Para que se atinja a meta de ganhar mais dinheiro hoje e no futuro, Goldratt (1993) apresenta um sistema de indicadores de desempenho. Indicadores locais permitem identificar o impacto de medidas locais na meta global da organização, estabelecendo assim uma base forte para a execução efetiva do gerenciamento de restrições (COX III e SPENCER, 2002).

Segundo Cox III e Spencer (2002), os três indicadores desenvolvidos por Goldratt (1990) são: Ganho, inventário e despesas operacionais. O entendimento destes indicadores, à luz da teoria das restrições é:

1. Ganho: é a taxa pela qual uma organização gera dinheiro por intermédio das vendas;
2. Inventário: é todo o dinheiro investido pela organização na compra de itens que a organização pretende vender. Esses itens incluem bens acabados, matérias-primas e produtos acabados;
3. Despesas operacionais: é todo o dinheiro gasto pela organização para transformar o inventário em ganho.

A metodologia de programação da produção utilizada no gerenciamento das restrições, desenvolvida por Goldratt, é o Tambor, Pulmão e Corda (TPC). O TPC é utilizado com o objetivo de maximizar o ganho das restrições através do seu gerenciamento (COX III e SPENCER, 2002).

O Tambor é o elemento responsável pela geração da cadência da produção, programando o plano mestre de produção (PCP) para as restrições (COX III e SPENCER, 2002), detalhando qual a peça, qual o lote, horário de início e fim (CHECOLI e MONTEIRO, 2000).

O Pulmão representa o estoque protetor, definido como estoque por tempo de segurança, antes da restrição e sincronizado com este. O Pulmão visa garantir que a restrição não pare por falta de material (COX III e SPENCER, 2002).

A corda representa a sincronização entre a necessidade de chegada de materiais no estoque protetor e a admissão de matérias-primas no sistema (COX III e SPENCER, 2002).

2.4 As Perdas Relacionadas ao Equipamento e o Cálculo do OEE

A meta do TPM é aumentar a eficiência do equipamento como um todo, ou seja, cada parte

do equipamento deve ser operada e mantida buscando sua total potencialidade (NAKAJIMA, 1989).

O cálculo do OEE definido e difundido originalmente por Nakajima tem um papel fundamental na obtenção da maximização da eficiência dos equipamentos, por tratar-se da métrica que não somente gera o resultado de eficiência, como permite análises mais detalhadas das perdas a partir do desdobramento do cálculo. Hansen (2002) destaca que as perdas, ineficiências, como uma fábrica escondida, representa que uma parte do recurso da empresa não está sendo utilizada com toda sua capacidade.

A medição do OEE pode ser aplicada em vários diferentes níveis no ambiente da manufatura. Primeiro o OEE pode ser usado como *benchmark* para medições iniciais de performance de uma planta de manufatura por inteiro. Desta forma, o OEE medido inicialmente pode ser comparado com valores de OEE futuros, quantificando os níveis de melhorias obtidos. Segundo, o valor de OEE, calculado para uma linha de manufatura, pode ser usado para comparar a performance da linha por toda a fábrica, deste modo realçando as linhas com performance pobre. Terceiro, se as máquinas processam o trabalho individualmente, a medição do OEE pode identificar qual máquina que está com a pior performance, e conseqüentemente identificar onde focalizar os recursos da TPM (NAKAGIMA, 1989, *apud* DAL, TUGWELL e GREATBANKS, 2000).

A maximização da eficiência dos equipamentos é alcançada através de atividades quantitativas, aumentando a disponibilidade e melhorando a produtividade, e das atividades qualitativas, através da redução do número de defeitos.

A identificação das perdas é o ponto de partida para restabelecer as condições dos equipamentos, garantindo alcançar a eficiência global, conforme estabelecido quando foi adquirido o equipamento ou logo após ele ter sido reformado.

Nakajima (1989) definiu seis grandes perdas existentes nos equipamentos (recursos), que influenciam diretamente em suas produtividades. As seis grandes perdas estão descritas abaixo. Na tabela 4, são apresentadas as metas de redução para as mesmas.

1. Perdas por Quebra: são caracterizadas pela parada da função, ou seja, o equipamento fica indisponível por um determinado tempo, até que se restabeleça a condição

original e inicie novamente a operação, seja pela atividade da manutenção, *pre-set*, engenharia ou outro departamento. As quebras estão divididas dois tipos, esporádicas e crônicas. As quebras esporádicas caracterizam-se por paradas repentinas e drásticas, porém de fácil visualização e correção, enquanto que as quebras crônicas são geralmente ignoradas ou negligenciadas por tratar-se de paradas de curta duração, porém de frequência alta, como mostra a Figura 5. O restabelecimento da operação do equipamento é efetuado rapidamente pela manutenção ou pelos próprios operadores, entretanto a solução completa destas quebras não é facilmente atingida;

2. Perdas por *Setup* e Regulagens: estão relacionadas a mudanças de produtos e regulagens até que seja concluído o *setup*. Cabe salientar que as regulagens feitas depois de concluído o *setup* devem ser caracterizadas como perdas, porém relacionadas à perda 1. A regulagem é, de modo geral, responsável pela maior parte do tempo perdido;

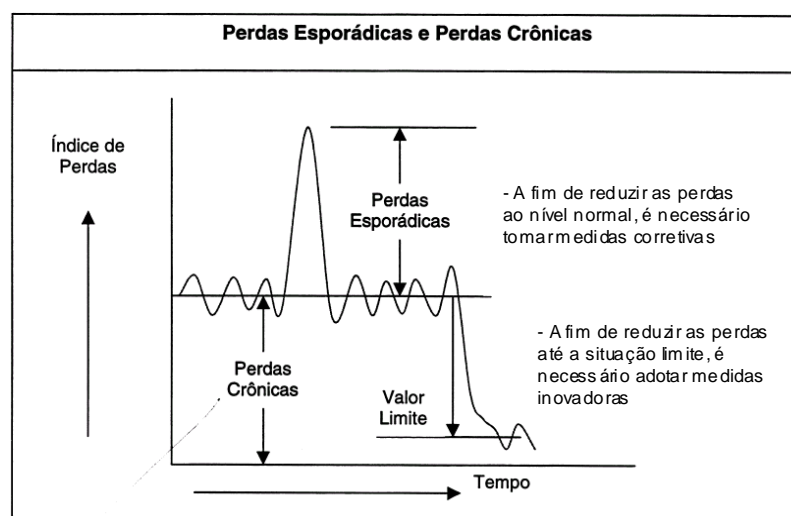


Figura 5: Diferença entre perdas crônicas e perdas esporádicas

Fonte: Chinone, 2001, p. II-26

3. Perdas por Ociosidade e Pequenas Paradas: originadas da palavra japonesa "Chokotei", que se caracteriza por interrupções dos ciclos dos equipamentos,

paradas intermitentes de linhas de produção gerando partidas e paradas constantes (SUEHIRO, 1992). Diferentemente da perda 1 (Quebra), caracterizam-se por interrupções de tempo relativamente pequeno. Suehiro (1992) define que as pequenas paradas são problemas no equipamento que não necessitam de mais de cinco minutos para o reparo, e para que a verdadeira causa seja encontrada. Entretanto o critério de tempo que caracteriza uma pequena parada pode variar em função de entendimento que cada empresa tem com relação às paradas, bem como o sistema de coleta de dados adotado, assunto que será discutido na seção 2.6.

Shirose (1992) destaca, como elemento central para definir as pequenas paradas, que a correção, ou seja, o re-estabelecimento da função requerida⁵ do equipamento seja feito pelo operador. Como de modo geral esta perda é eliminada de maneira rápida e simples, por intermédio de *resets* do equipamento, a identificação e contabilização tornam-se dificultadas. Isto porque, muitas vezes, não são entendidas como perdas pelos operadores, ficando assim escondidas. As pequenas paradas são encontradas normalmente em sistemas que utilizam robôs, montagens automáticas, esteiras transportadoras, entre outros, causando freqüentemente efeitos danosos à eficiência do equipamento. Suehiro (1992) destaca que, em linhas e equipamentos automáticos, as pequenas paradas podem resultar em perdas de eficiência na ordem de 20 a 30 pontos percentuais;

4. Perdas por Redução de Velocidade: caracterizam-se pela velocidade real ser menor que a velocidade teórica ou de engenharia, implicando tempos elevados de ciclo. Estas perdas podem ser ocasionadas por problemas de manutenção, operação, qualidade ou processo, que levam os operadores, técnicos de manutenção, entre

⁵ Conjunto de condições de funcionamento para o qual a unidade foi projetada/fabricada/instalada. A unidade poderá exercer a função requerida com ou sem restrições (BELTRANO FILHO, 1996).

outros, a reduzirem as velocidades de trabalho dos equipamentos, permitindo que os equipamentos se mantenham em operação, porém encobrimdo as suas reais causas;

5. Perdas por Problemas de Qualidade e Re-trabalhos: são relativas à geração de produtos não-conformes, causados pelo mau funcionamento dos equipamentos. De forma semelhante às perdas por quebras, os problemas de qualidade podem ocorrer de forma esporádica e crônica;
6. Perdas por Queda de Rendimento (*Startup*): estão relacionadas às restrições técnicas dos equipamentos, que obrigam um período para estabilização das condições dos equipamentos após períodos de parada do equipamento. Shirose (2000) define que estas perdas são oriundas de paradas do equipamento após reparos periódicos ou corretivos, feriados, refeições, entre outras.

A Eficiência Global dos Equipamentos ou “OEE” (1), considerada como a evolução métrica do processo TPM, é mensurada a partir da estratificação das seis grandes perdas, e calculada através do produto dos índices de Disponibilidade, Performance e Qualidade (NAKAJIMA, 1989).

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade (1)}$$

Tabela 4: Metas de melhoria para perdas

Tipo da Perda	Meta	Explicação
1- Quebras	0	Reduzir para zero em todo o equipamento
2- Setup e ajustes	minimizar	Reduzir os tempos de setup para menos de 10 minutos
3- Ociosidade e pequenas paradas	0	Reduzir para zero em todo o equipamento
4- Redução de velocidade	0	Trazer o tempo de ciclo atual para o tempo de engenharia, e fazer melhorias para reduzir o tempo de engenharia
5- Defeitos de qualidade e retrabalhos	0	Aceitarem somente ocorrências extremamente pequenas. Ex: 100ppm à 30ppm
6- Startup	minimizar	

Fonte: Adaptado de Nakajima, 1989, p. 31

As seis grandes perdas dos equipamentos estão associadas aos três índices que formam o cálculo de eficiência, conforme a Figura 6. Onde a perda 1 “quebra” e 2 “*Setup* e regulagens” fazem parte do índice de disponibilidade, as perdas 3 “pequenas paradas” e 4 “queda de velocidade” influenciam a performance, enquanto que o índice de Qualidade é composto pelas perdas 5 “Problemas de qualidade e re-trabalho” e 6 “queda de rendimento”.

O Índice de Disponibilidade (eq. 2) representa a relação existente entre o tempo total disponível do equipamento, dependendo do período de análise que pode ser diário, semanal ou mensal, também chamado de tempo de carga, com o tempo em que o equipamento efetivamente ficou em operação.

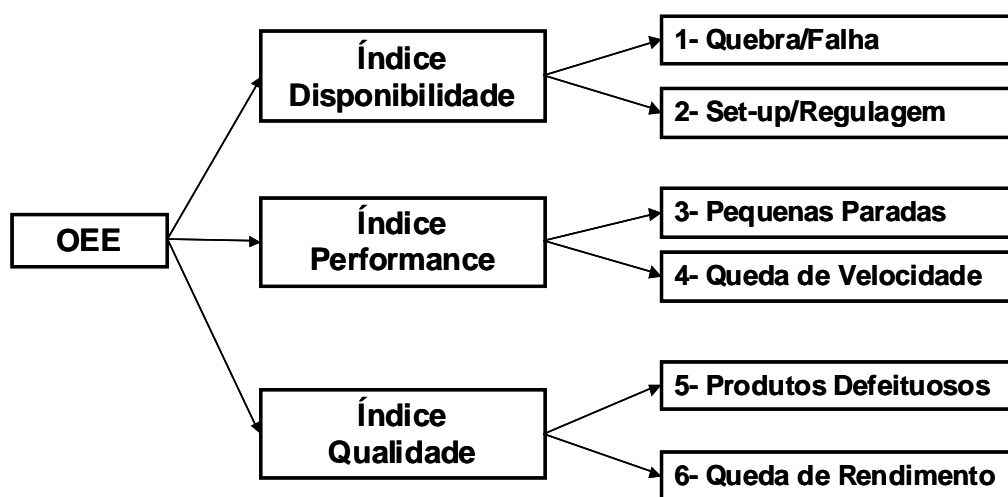


Figura 6: Relacionamento entre o OEE e seus índices e perdas

Fonte: Elaborado pelo autor

O tempo de carga resulta da diferença entre o tempo de jornada de trabalho e tempo de paradas programadas pela produção representada por manutenções programadas, manutenções preventivas, tempo de descanso, limpeza do equipamento, treinamentos, entre outras concessões. As paradas programadas não são consideradas no cálculo de eficiência. As paradas não programadas são devido às perdas 1- Quebra e 2- *Setup* e regulagens.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Carga} - \text{Tempo de Paradas Não Programada}}{\text{Tempo de Carga}} \quad (2)$$

O índice seguinte, Performance (eq. 3) é composto pelas perdas por queda de velocidade (eq. 4) que demonstra o quanto o tempo de ciclo real está próximo ao tempo de engenharia ou tempo teórico, ou seja, avalia o ritmo de produção do equipamento e pelas perdas por pequenas paradas (eq. 5) e (eq. 6).

$$\text{Performance} = \frac{\text{Ciclo Teórico} \times \text{Quantidade Produzida}}{\text{Tempo de Operação}} \quad (3)$$

$$\text{Perda de Velocidade} = \frac{\text{Ciclo Teórico}}{\text{Ciclo Real}} \quad (4)$$

$$\frac{\text{Ciclo Teórico} \times \text{Quantidade Produzida}}{\text{Tempo de Operação}} = \frac{\text{Ciclo Teórico}}{\text{Ciclo Real}} \times \text{Pequenas Paradas} \quad (5)$$

A Qualidade (eq. 7), terceiro índice que compõe o cálculo de eficiência, é relativo à geração de produtos defeituosos, que resultam em refugos e re-trabalhos.

$$\text{Pequenas Paradas} = \frac{\text{Ciclo Real} \times \text{Quantidade Produzida}}{\text{Tempo de Operação}} \quad (6)$$

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produção Total} - \text{Refugos e Retrabalhos}}{\text{Produção Total}} \quad (7)$$

Na Figura 7, pode-se visualizar um exemplo de cálculo de eficiência global de um equipamento.

<p>A: Jornada diária de trabalho = 60 minutos x 8 horas = 480 minutos B: Tempo diário de parada programada (tempo de parada referente ao planejamento da produção, tempo de parada para a manutenção programada, tempo de parada para reunião matinal, etc) = 20 min C: Tempo diário de carga = A – B = 460 min D: Tempo diário de perdas por parada (considerando quebra/falha = 20 min, mudança de linha = 20 min, regulagem = 20 min) = 60 min E: Tempo diário de operação = C – D = 400 min G: Produção diária = 400 peças H: Índice de produtos aprovados = 98% I: Tempo de ciclo teórico (ou padrão) = 0,5 min/peça J: Tempo de ciclo efetivo = 0,8 min/peça</p> <p>Deste modo temos:</p> <p>F: Tempo real de manufatura = J x G = 0,8 x 400 T: Índice do tempo operacional = E/C x 100 = 400/460 x 100 = 87% M: Índice de velocidade operacional = I/J x 100 = 0,5/0,8 x 100 = 62,5% N: Índice operacional efetivo = E/F x 100 = (0,8 x 400)/400 x 100 = 80% L: Índice de desempenho operacional = M x N x 100 = 0,625 x 0,8 x 100 = 50%</p> <p>Rendimento Global do Equipamento/Instalação = T x L x H x 100 = 0,87 x 0,5 x 0,98 x 100 = 42,6%</p>
--

Figura 7: Cálculo de eficiência global de um equipamento

Fonte: Adaptado de Nakajima, 1993, p. 28

A partir do modelo de Nakajima, outras perdas passaram a ser incluídas no cálculo de eficiência global. Shirose (2000) acrescenta a perda por troca de ferramentas de corte e Jeong e Phillips (2001) apresentam estudos nas indústrias de semicondutores, acrescentando Quatro perdas, que são: Perda por falta de programação de produção; Manutenção programada; Pesquisa e desenvolvimento e Tempo de engenharia. Estas quatro perdas adicionadas entram no cálculo de eficiência através do índice de disponibilidade.

Um método de cálculo simplificado e confiável para a determinação do OEE pode ser construído a partir das informações de tempo de carga (disponível) “T”, quantidade de peças boas produzidas “Q” e o tempo de ciclo teórico “TC”. A equação (8) apresenta a forma de cálculo do OEE para produção de apenas um tipo de peça (ANTUNES, 2001; HANSEN, 2002; JEONG; PHILLIPS, 2001).

Na Figura 8, é possível analisar esquematicamente as relações entre as perdas, índices e cálculos, segundo a abordagem de Nakajima (1989).

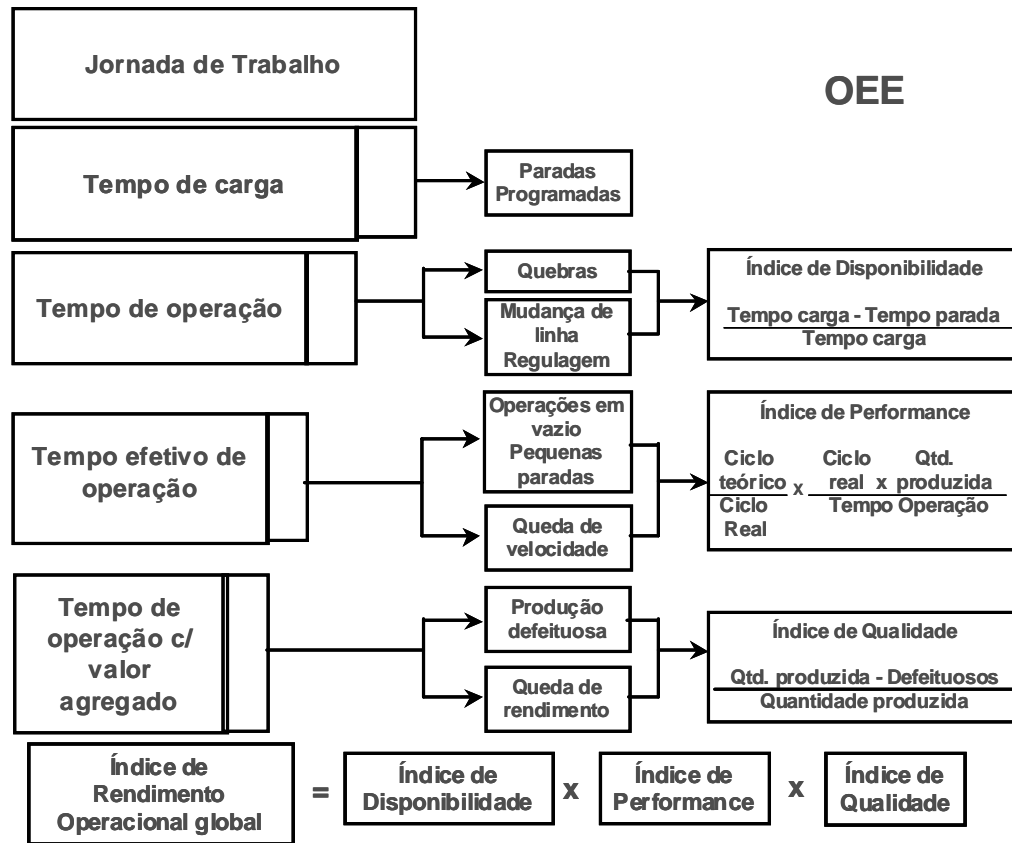


Figura 8: Modelo de cálculo do OEE
 Fonte: Adaptado de Nakajima, 1989, p. 26

$$OEE = \frac{Q \times X \times Tc}{T} \quad (8)$$

Caso o equipamento produza mais de um tipo de peças, que retrata melhor a realidade da empresas, o cálculo deve efetuar o somatório do produto “Peças Boas Produzidas X Tempo de Ciclo”, conforme o mix do período de análise, como mostra a equação (9).

$$OEE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times Tc_i}{T_i} \quad (9)$$

De forma semelhante ao apresentado nas equações (8) e (9), é possível, através da análise da Figura 7, relativa ao método de cálculo do OEE proposto por Nakajima (1989), obter, de forma simplificada, a equação (10), que pode ser usada para o cálculo do OEE.

$$\text{OEE} = \frac{\text{Tempo de Operação com Valor Agregado}}{\text{Tempo de Carga}} \quad (10)$$

As equações (8), (9) e (10) permitem o cálculo rápido e confiável do OEE, porém não trazem consigo as informações que propiciam análises que devem ser utilizadas na melhoria desta métrica. Deste modo, as ações para solução dos problemas em busca da melhoria contínua do OEE devem estar apoiadas no cálculo completo do OEE, como descrito anteriormente, pois este é realizado a partir das seis grandes perdas, revelando onde estão as perdas e quais são as mais significativas no contexto de cada equipamento.

Nakajima (1993) apresenta, baseado nas experiências e resultados obtidos pelas empresas ganhadoras do prêmio *TPM Award*, que um OEE de 85% deve ser buscado como uma meta ideal para os equipamentos. As empresas ganhadoras do prêmio *TPM Award* obtiveram OEE superior a 85%.

Ainda de acordo com Nakajima, as metas para os índices que compõem o cálculo do OEE para atingir os 85% deverão ser maiores que 90% para o índice de disponibilidade, maior que 95% para a performance e maior que 99% para a qualidade, como representado no cálculo (11) abaixo:

$$\text{OEE} = 0,90 \times 0,95 \times 0,99 \times 100 = 85\% \quad (11)$$

2.5 As Perdas do Sistema de Produção e o Cálculo do OEE

A partir das 6 grandes perdas de Nakajima (1989), as quais focalizavam estritamente a melhoria da eficiência dos equipamentos, a metodologia TPM foi recebendo atualizações por parte da JIPM, culminando em modificações que ampliaram o foco das perdas. Passou-se a analisar as perdas do sistema da produção como um todo, bem como as áreas de apoio, objetivando aumentar a adição de valor e a redução dos custos de manufatura (PALMEIRA; TENÓRIO, 2002; SHIROSE, 2000).

Com este novo foco estabelecido, Shirose (2000) apresenta uma análise com 16 perdas divididas em quatro grupos:

- I. Sete grandes perdas que prejudicam a eficiência dos equipamentos;
- II. Perdas que prejudicam o tempo de carga dos equipamentos;
- III. Cinco grandes perdas que prejudicam a melhoria na eficiência do trabalho humano;
- IV. Três grandes perdas que prejudicam o uso eficiente dos recursos de produção.

Perdas do grupo I:

1. Perdas por Quebra: Mesma conceituação do modelo de Nakajima;
2. Perdas por Setup e Regulagens: Mesma conceituação do modelo de Nakajima;
3. Perdas por Troca de Ferramentas de Corte: São perdas relativas à necessidade de parada do equipamento para trocas regulares de ferramentas de corte devido a quebras e ao desgaste natural de utilização. São exemplos de ferramentas de cortes, brocas, lâminas de corte, rebolos diamantados, brochas, etc;
4. Perdas por Ociosidade e Pequenas Paradas: Mesma conceituação do modelo de Nakajima;
5. Perdas por Redução de Velocidade: Mesma conceituação do modelo de Nakajima;

6. Perdas por Problemas de Qualidade e Re-trabalhos: Mesma conceituação do modelo de Nakajima;
7. Perdas por Queda de Rendimento (Startup): Mesma conceituação do modelo de Nakajima.

Perdas do grupo II:

1. Perdas por Desligamento: São perdas que implicam a parada programada do equipamento para execução de atividades relacionadas à manutenção programada, para garantir a qualidade, a segurança e a confiabilidade requeridas para o funcionamento adequado dos equipamentos.

Perdas do grupo III:

1. Perdas Administrativas: São perdas de tempo relativas às esperas por ações gerenciais, tais como espera por materiais, instruções e reparos de defeitos;
2. Perdas por Movimento: São perdas de tempo que decorrem como resultado de diferenças de habilidade, e perdas por movimentação devido a *layouts* ineficientes;
3. Perdas por Desorganização da Linha de Produção: São perdas de balanceamento de linhas, em situações onde uma pessoa opera mais de um equipamento ao mesmo tempo, bem como perdas por organização inadequada;
4. Perdas Resultantes de Falhas de Automação (Logística): São perdas resultantes de falhas nos sistemas de automação para movimentação de peças, bem como a não-utilização dos mesmos quando aplicável, implicando a utilização de mão-de-obra para cobrir tais perdas;
5. Perdas por Medição e Ajustes: São perdas relativas aos tempos para as medições e os ajustes necessários à prevenção dos problemas de qualidade.

Perdas do grupo VI:

1. Perdas de Rendimento: São perdas de rendimento de materiais relativas à diferença de peso entre a matéria-prima e o produto acabado. Estão incluídas nesta perda as peças descartadas por problemas de qualidade, lâminas de cortes descartadas devido à perda de afiação ou quebra devido a dimensões acima do especificado, entre outras;
2. Perdas de Energia: São perdas de energia tais como eletricidade, ar, combustíveis, água, etc, desperdiçadas devido a sobre-cargas, vazamentos, perda de temperatura, tempos ociosos, entre outras;
3. Perdas por Moldes, Ferramentas e Gabaritos: São perdas monetárias resultantes da substituição e reparo de moldes, ferramentas e gabaritos decorrentes das quebras e desgastes pelo uso. Fazem parte desta perda os materiais auxiliares descartados em função da substituição e reparo dos moldes, ferramentas e gabaritos, tais como óleos de corte e lubrificação, combustíveis, entre outros.

A Figura 9 apresenta a estrutura de perdas, relacionando as dezesseis perdas em quatro grupos, conforme demonstrado anteriormente. Está presente na estrutura das perdas dos equipamentos, grupo I, uma perda não relacionada anteriormente, bem como não numerada na estrutura relativa a outras perdas oriundas de tempos ociosos. Esta perda conforme mostra a Figura 9, é formada pelos tempos em que o equipamento está parado para limpeza e verificação de funcionamento, espera por instruções, espera por materiais, espera pela distribuição e/ou alocação de pessoal e confirmação de qualidade (ajustes e medições). Deste modo, às perdas oriundas de tempo ocioso não fazem parte do cálculo do OEE, por serem perdas não originadas pelos equipamentos, pois, sob o foco de Nakajima (1993), seguido por Shirose (2000), o OEE é uma métrica que objetiva analisar somente os equipamentos. Cabe destacar que Nakajima (1993) e Shirose (2000), consultores e pesquisadores da metodologia TPM, ocuparam posições hierárquicas de destaque na JIPM,

caracterizando estas conceituações como diretrizes oficiais da JIPM. Com base neste conceito, as perdas oriundas de tempos ociosos são tratadas no grupo III, relativas a eficiência da mão-de-obra.

2.6 Tipologia de Paradas de Equipamentos e Métodos de Coleta de Dados

O desdobramento das perdas conforme Shirose (2000) e Jeong e Phillips (2001) está relacionado diretamente às maneiras como são coletados os dados, que têm como base a tipologia de paradas, assunto que será abordado a seguir.

“Em geral, uma boa coleta de dados é a chave requerida para o completo sucesso da estratégia da OEE. O sucesso de várias fábricas é afetado enormemente por como a acuracidade das informações são coletadas e analisadas eficientemente” (HANSEN, 2002, p. 32).

Ljungberg (1998) destaca que a literatura relacionada ao TPM não apresenta de maneira clara como os dados relativos às perdas devem ser coletados e classificados. “A razão para a coleta de dados não deveria ser a de exibir dados organizados, mas criar uma base para ação de desenvolvimento (melhorias) dos processos” (ISHIKAWA, 1982, *apud* BAMBER *et al.*, 2003, p. 234).

acuracidade duvidosa, quando coletados e registrados manualmente em formulários pelos operadores. É necessário um cuidado maior durante a implementação do cálculo, até que se estabeleça a acuracidade desejada. Além disso, é imprescindível construir uma relação de confiança entre a chefia e os operadores, uma vez que estas coletas podem ser vistas como uma forma de encontrar culpados para os problemas existentes, e não como uma forma de monitoração e melhoria contínua da eficiência global.

Segundo Hansen (2002), as informações mínimas necessárias por produtos a serem coletadas para iniciar análises do OEE, de modo que seja possível planejar atividades de melhoria no equipamento, são: quantidade de peças produzidas por produto, quantidade de peças re-trabalhadas e sucateadas, informações dos tempos de ciclo atual e de engenharia por produto, tempos de parada do equipamento, tempo de produção por produto, horário de trabalho por produto (início e término), nome dos operadores, data de produção e código do produto. Com base nestas informações, é possível montar planilhas para coleta de dados para proceder aos registros manualmente.

A condição mais adequada para a coleta de dados seria a aplicação de um sistema de coleta automática, sendo possível evitar a manipulação dos tempos de parada, já que o sistema registra os tempos de início e fim das interrupções (JEONG; PHILLIPS, 2001). Mesmo assim, ainda temos uma lacuna quanto à acuracidade dos dados que são inseridos no sistema, pois ainda está na mão dos operadores registrar os motivos da interrupção. Por outro lado, a coleta automática apresenta custos de implantação elevados (LJUNGBERG, 1998), principalmente quando aplicados em empresas de manufatura onde o número de equipamentos é geralmente elevado, inviabilizando a utilização em todos os equipamentos. Entretanto, o avanço tecnológico, através da utilização de computadores e CNC (Comando Numérico Computadorizado) no controle das máquinas, permite a utilização destes equipamentos como base para a coleta de dados, sem a necessidade de compra de equipamentos adicionais.

A utilização de sistemas de coleta de dados automáticos permite o registro de eventos de curta duração, chamados por Nakajima (1993) de pequenas paradas, perdas essas que compõem o índice de performance juntamente com as perdas de velocidade, conforme as equações (6) e (4), respectivamente, e não o índice de disponibilidade justamente pela acuracidade duvidosa oriunda da coleta manual, como citado por Ljungberg (1998).

Segundo Jeong e Phillips (2001), sistemas dinâmicos discretos de eventos (DEDS, *Discrete event dynamic system*) são capazes de registrar as pequenas paradas. Este registro é possível, pois os sistemas computadorizados conectados aos equipamentos monitoram os estados binários possíveis, equipamento parado (ocioso) ou equipamento em operação (ocupado). Desta maneira, sempre que houver, no equipamento, transição nestes estados, o sistema registrará a duração de cada evento bem, como a frequência de ocorrência, independente do tempo da parada. Desta forma, as pequenas paradas antes calculadas pela equação (6), que não permitia informações detalhadas, mas somente o tempo total perdido pelas mesmas, passam a ser contabilizadas no índice de disponibilidade.

De modo geral, os *softwares* que controlam estes sistemas de aquisição de dados permitem a inserção do motivo da interrupção detectada pelo mesmo, possibilitando a geração de relatórios detalhados do índice de disponibilidade, priorizando os eventos de parada por frequência e duração.

Existem, disponíveis no mercado, inúmeros *softwares* que coletam dados e calculam o OEE automaticamente. A empresa GE Fanuc, integrante do grupo GE, fabricante de sistemas de controle industriais como Controladores Lógicos Programáveis (CLP), Controles Numéricos Computadorizados (CNC), Robôs, entre outros possui um produto chamado “iCELLTM OEE Shop Floor Intelligence” <<http://www.gefanuautomation.com>> que disponibiliza todas as necessidades de interface para coleta de dados dos equipamentos relacionados às paradas, qualidade e velocidade operacional, cálculo automático do OEE,

relatórios e gráficos. No *site* <<http://www.sematech.com>>, da empresa SEMATECH, existe a informação referente a um *software* desenvolvido com base no método de cálculo de eficiência CUBES (*Capacity Utilization Bottleneck Equipment System*) que é discutido no item 2.7, a seguir, o qual apresenta, de modo geral, os mesmos recursos do *software* da GE Fanuc, bem como outros disponíveis no mercado.

No Brasil, podem ser encontrados sistemas como “map CARDOSO” <<http://www.mapcardoso.com.br>>, “e-fact” <<http://www.e-fact.com>> e “Promatec” <<http://www.promatec.com>>, entre outros.

Ljungberg (1998) apóia que o sucesso (acuracidade) da coleta de dados está na escolha de métodos que consumam pouco tempo para inserção dos códigos.

A aplicação de sistemas de coleta automática de dados deve ser direcionada aos equipamentos gargalo, cuja acuracidade dos dados deve ser alta. Quando ocorrer a mudança no gargalo, pode-se aproveitar o sistema de coleta automática existente nestes equipamentos, para instalá-los nos novos gargalos, racionalizando assim os investimentos, enquanto que o restante dos equipamentos podem ser aplicados métodos manuais de coleta. Alguns sistemas de coleta automática de dados permitem interligar a um ponto de coleta mais de um equipamento, sendo assim possível monitorar, além do gargalo, outros equipamentos com um investimento não muito maior.

A seleção das máquinas para a coleta de dados não deve ser feita de maneira aleatória. Deve-se escolher as máquinas consideradas chave para a companhia. Hansen (2002) apóia a aplicação do OEE nos equipamentos gargalos, áreas com processos críticos, e áreas com alto investimento de capital.

A finalidade de construir categorias do OEE codificadas, chamadas por Nakajima (1989) de perdas, é proporcionar aos operadores condições de efetuar apontamentos das

paradas existentes nos equipamentos, para que cada empresa busque diferentes estados (paradas) do equipamento, de modo a atingir o nível de acuracidade de dados desejados (JEONG; PHILLIPS, 2001), porém deve-se evitar a utilização de categorias muito abrangentes como “outros ou miscelâneas”. Por outro lado, se forem definidos muitos códigos para serem utilizados pelos operadores, independentemente do sistema de coleta ser manual ou automático, ainda existe o risco de os operadores selecionarem somente um código, o que pode resultar na desmotivação dos operadores, criando uma reação contrária à coleta de dados (JOHNSON, LESSHAMMAR, 1999). Por este motivo, deve-se limitar a quantidade de códigos que serão utilizados no registro das paradas. (LJUNGBERG, 1998; DAL, TUGWELL e GREATBANKS, 2000; HANSEN, 2002).

Algumas categorias utilizadas por Hansen (2002), bem como o modelo de formulário para coleta manual de dados, é apresentado na Figura 10.

Tendo em vista o foco na maximização do OEE, diferentemente de Nakajima (1989) e Hansen (2002), entre outros autores que não apresentam detalhamento suficiente, as perdas ou categorias do OEE devem ser desdobradas em níveis de detalhamento maiores, estabelecendo assim uma tipologia de paradas que cubra as principais causas de paradas a que os equipamentos estão submetidos (JEONG, PHILLIPS, 2001). A empresa, por intermédio destes registros, terá, à sua disposição, informações que permitirão identificar e priorizar as áreas com maior oportunidade de ganho.

Deste modo, a definição da tipologia de paradas é uma etapa importante no cálculo da eficiência Global de Equipamentos, devendo ser realizada pela própria empresa, por se tratar do momento em que a empresa descreve como entende as perdas existentes em seu sistema de produção (BAMBER *et al.*, 2003).

Nesta etapa, são listadas e definidas todas as paradas (programadas e não-programadas) entendidas como perdas na empresa, estabelecendo códigos, através da

utilização de números e ou letras, com os motivos de parada. No capítulo 3, será apresentado um exemplo de tipologia de paradas, utilizado em uma empresa do ramo metal-mecânico.

Itens	Min.	Descrição	Categoria
A	10	Início de turno	Excluir
B	30	Reunião planejada	Excluir
C	30	Falha no equipamento	Parada Técnica
D	10	Carregamento de material errado	Parada Operacional
E	20	Aguardando matéria-prima	Externo
F	30	Parada para refeição	Excluir
G	20	Regulagem	Parada Operacional
H	20	Setup	Tempo Operacional
I	30	Falta de contenedor	Externo
J	20	Troca de parafusos (Planejado)	Excluir
K	20	Setup	Tempo Operacional
L	20	Problemas de planicidade	Parada Qualidade
M	30	Rompimento de correias - equipamento	Parada Técnica
N	30	Parada para refeição	Excluir
O	20	Limpeza de equipamento	Parada Técnica
P	30	Setup	Tempo Operacional
Q	20	Troca de parafusos (Planejado)	Excluir
R	20	Contaminação - causado pelo equipamento	Parada Técnica
S	20	Testes no equipamento devido ao item "R"	Parada Técnica
T	120	Parada planejada	Excluir
U	30	Setup	Tempo Operacional
V	30	Teste do produto (Qualidade)	Parada Qualidade
Parada = Parada não planejada (Técnica, Operacional ou Qualidade)			
Tempo = Parada planejada (Operacional, setup, etc.)			
Externo = Parada não planejada (Falta de matéria-prima, troca de informações, etc.)			
Excluir = Parada planejada (Refeição, Reunião, Atividades preventivas, etc.)			

Figura 10: Formulário para coleta manual de dados e motivos de parada

Fonte: Adaptado de Hansen, 2002, p. 39

Com uma tipologia de parada adequada, tem-se a possibilidade de desenvolver uma análise mais aprofundada das oportunidades existentes no equipamento, permitindo, a partir deste ponto, traçar ações específicas para melhorar o OEE.

É necessário que seja feita a definição clara de cada motivo de parada bem como sua aplicação no contexto da empresa, para que não ocorram erros conceituais durante o preenchimento dos formulários de parada ou no lançamento em sistemas computadorizados. A partir destas definições, é possível que os operadores apontem as reais causas de parada de seus equipamentos.

2.7 Os Métodos de Cálculo de Eficiência Cubes e Teep

O CUBES (*Capacity Utilization of Bottleneck Equipment System*) e TEEP (*Total Effectiveness Equipment Performance*) apresentam uma análise mais atual para a aplicação do OEE, ambos buscando uma integração mais adequada das perdas que incidem sobre os equipamentos, bem como uma análise mais ampla de tempo de utilização.

O método de cálculo CUBES foi concebido a partir das necessidades e particularidades das indústrias de capital intensivo, como as indústrias de semicondutores e indústrias químicas, pelo qual se busca utilizar os equipamentos o mais eficientemente possível, de maneira a obter retornos mais rápidos de seus investimentos (JEONG e PHILLIPS, 2001).

Jeong e Phillips (2001) destacam ainda que a definição original do OEE, sugerida por Nakajima, não é apropriada para as indústrias de capital intensivo sob o foco da análise de tempos de carga. Nestas análises, Nakajima desconsidera os tempos de manutenção programada para execução de manutenções preventivas, bem como tempos não planejados para operação como feriados e turnos de trabalho.

O conceito do tempo de carga utilizado pelo CUBES computa como base o tempo calendário total, ou seja, todos os dias do ano vinte e quatro horas por dia, incluindo, desta forma, as paradas programadas para manutenção preventiva, feriados, entre outros, diferentemente do que ocorre com o OEE (JEONG e PHILLIPS, 2001).

Algumas perdas foram inseridas por Jeong e Phillips (2001), de modo a permitir o registro das paradas programadas, bem como outras perdas importantes dentro de indústrias de capital intensivo. Estas perdas foram classificadas em um total de dez, conforme segue abaixo:

1. Tempo não programado (*Nonschedule time*): Período de tempo no qual o equipamento não tem programação para operar, incluindo feriados;

2. Tempo para manutenção programada (*Scheduled maintenance time*): Período de tempo destinado para atividades de manutenção preventiva no equipamento;
3. Tempo de manutenção não programada (*Unscheduled maintenance time*): Período de tempo utilizado para manutenções corretivas;
4. Tempo para pesquisas e desenvolvimentos (*R&D time*): Período de tempo utilizado para atividades de pesquisas e desenvolvimentos de novos produtos. Algumas empresas utilizam os mesmos equipamentos para produção, pesquisas e engenharia;
5. Tempo de engenharia (*Engineering usage time*): Período de tempo aplicado para atividades de *check up* da engenharia;
6. Tempo de *setup* e ajustes (*Setup and adjustment time*): Período de tempo aplicado nas atividades de *setup* e ajustes da operação;
7. Tempo de falta de estoque em processo (*WIP starvation time*): Período de tempo em que o equipamento está em operação, porém não há peças para processar;
8. Tempo perdido por falta de operador (*Idle time without operator*): Período de tempo em que não há falta de peças, entretanto não há operador disponível para operar o equipamento;
9. Perda de velocidade (*Speed loss*): Tempo perdido devido à diferença de velocidade entre o ciclo real e o ciclo padrão ou teórico;
10. Perda de qualidade (*Quality loss*): Período de tempo em que o equipamento está operando, porém produzindo peças fora das especificações de qualidade.

As perdas apresentadas acima por Jeong e Phillips (2001), a partir do estudo das particularidades da indústria de semicondutores, cobrem aspectos importantes não considerados pelo OEE, tais como as perdas 1, Tempo não programado, e 2, Tempo para manutenção programada, foram incluídas para evitar super-estimação do valor do OEE.

Com o ciclo de vida dos produtos na área de semicondutores com tendências de se tornarem cada vez menores, foram incluídas as perdas 4, Tempo para pesquisas e desenvolvimentos e 5, Tempo de engenharia no cálculo de eficiência, tendo em vista que muitas companhias utilizam-se dos mesmos equipamentos para a produção seriada, pesquisas e atividades de engenharia.

Leachman (1995) *apud* Jeong e Phillips (2001) quanto às perdas 7, Tempo de falta de estoque em processo, e 8, Tempo perdido por falta de operador, destacando que ambas perdas são os componentes mais significativos das perdas por ociosidade e pequenas paradas, originalmente definidas por Nakajima. É destacado também que a causa principal da perda 7 está na diferença de capacidade de produção entre os processos predecessor e sucessor. As demais perdas seguem o mesmo contexto descrito por Nakajima (1993).

Apoiados nos métodos de coletas de dados, Jeong e Phillips (2001) apresentam dois modelos de cálculo para o OEE, utilizando como base o tempo calendário total. O primeiro modelo chamado de OEE 1, conforme a Figura 11, associa as perdas de 1 a 8 ao índice eficiência de tempo; a perda 9 ao índice de eficiência de velocidade e, por fim, a perda 10 ao índice de eficiência de qualidade.

O segundo modelo, Figura 12, OEE 2, apresenta algumas diferenças em relação ao primeiro modelo, iniciando pelo nome dado aos três índices que compõem o cálculo do OEE. O primeiro índice no OEE 2 é chamado de índice de eficiência de disponibilidade, representado pelas perdas de 1 a 6; o segundo, de índice de eficiência de performance, associando as perdas de 7 a 9; e o terceiro, de índice de eficiência de qualidade à perda 10.

A diferença fundamental entre os dois modelos, associando as perdas diferentemente entre os índices que compõem o cálculo, é devido à acuracidade na coleta de dados de pequenas paradas, conforme abordado no item 2.6. Deste modo, o modelo OEE 1 representa o método de coleta de dados que permite o registro adequado dos eventos de paradas, sendo estas perdas associadas

exclusivamente ao índice de eficiência de tempo. O modelo OEE 2, não possuindo acuracidade para a coleta das perdas 7 e 8, associa-as ao índice de eficiência de performance.

A segunda diferença entre os modelos é devido à nomenclatura dada para os três índices do OEE. O modelo OEE 1 atribui o nome de índice de eficiência de tempo, pois todas as paradas são registradas pelo sistema de coletas de dados, avaliando-se, deste modo, o tempo de produção (tempo calendário total – tempos de paradas), já o segundo índice, como somente analisa a perda de velocidade, chama-se de índice de eficiência de velocidade, enquanto que o modelo OEE 2 segue os conceitos de Nakajima.

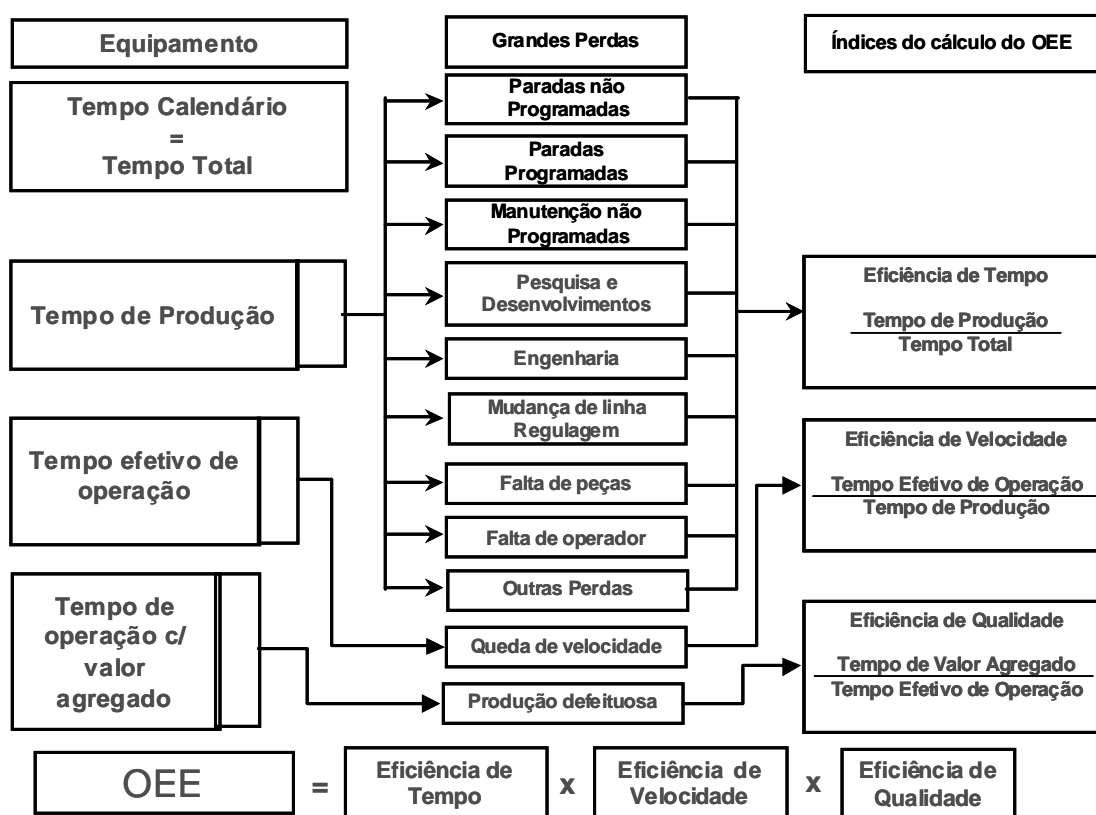


Figura 11: Modelo de cálculo do CUBES “OEE1”
Fonte: Adaptado de Jeong, Phillips, 2001, p. 1409

A métrica TEEP mede o OEE relativo a cada minuto do relógio, ou tempo calendário total, ou seja, o tempo total disponível será contabilizado 24 horas por dia, sete dias por semana, o que também ocorre com a métrica CUBES.

O número gerado pelo TEEP pode ser utilizado para especular qual a capacidade potencial existente na planta, bem como calcular o tamanho total da fábrica escondida pelas perdas. Para companhias que rodam suas fábricas utilizando-se do tempo calendário total, a fábrica escondida pelas perdas representa oportunidade de aumento de capacidade (HANSEN, 2002). O aumento da capacidade da fábrica descrita por Hansen, na verdade, caracteriza-se pela utilização plena da capacidade instalada já existente, e não um *up grade* de capacidade.

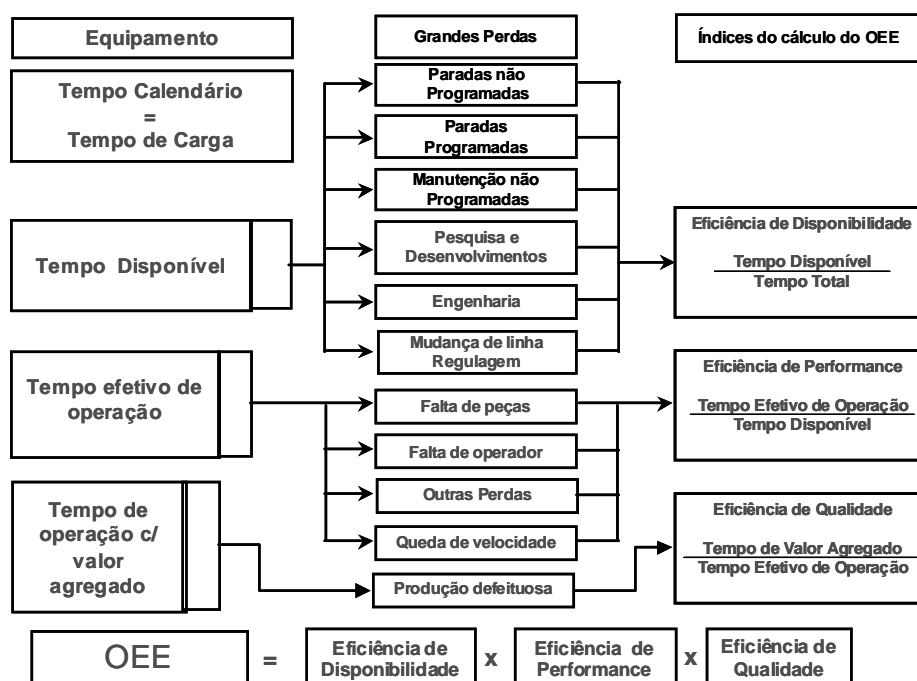


Figura 12: Modelo de cálculo do CUBES – OEE2

Fonte: Adaptado de Jeong; Phillips, 2001, p. 1410

Hansen (2002) relata que, de acordo com a apresentação da *Society of Maintenance Reliability Professionals conference* em 1999, o custo de desenvolvimento da capacidade escondida existente na fábrica da *Rohm and Haas Corporation* era dez vezes menor que a aquisição de nova capacidade. Segundo Hansen, o TEEP pode ser um bom indicador de capacidade disponível para os ativos existentes.

As perdas propostas por Hansen (2002) seguem a mesma linha seguida por Jeong e Phillips (2001), pois ambos desenvolveram suas métricas a partir da conceituação do OEE de

Nakajima. Estas perdas foram classificadas em cinco categorias, cuja descrição detalhada segue abaixo:

1. Perdas de tempo para reparo (*Downtime*): Todas as paradas para reparo do equipamento devem ser consideradas e classificadas:
 - 1.1 Reparo técnico: Tempos de reparo que afetam o equipamento ou o processo, incluindo periféricos do equipamento, falhas causadas por erros de manutenção;
 - 1.2 Reparo operacional: Tempos de reparo causados por não seguir procedimento, erros operacionais, operar fora das especificações, sujeira ou dano no equipamento;
 - 1.3 Reparos de qualidade: Tempos de reparo causados por não conformidades de fornecedores e matérias-primas, problemas de controle de processo, testes não planejados, produtos não manufaturados, e sujeira procedente de produtos ou processos.
2. Tempos de parada (*Stop Time*): Tempos de parada que podem ser planejados ou não planejados:
 - 2.1 Tempo de parada operacional: Paradas planejadas que incluem ações operacionais como setups, abastecimento ou carga de materiais, e registro de documentações;
 - 2.2 Tempo de parada induzida: Paradas não planejadas por razões externas, não relacionadas ao equipamento, como falta de peças, falta de pessoal, falta de informação, e reuniões não planejadas.
3. Tempos excluídos (*Excluded time*): São períodos de tempo normalmente não planejados para produzir. Períodos utilizados para atividades de reparos de manutenção, manutenções preventivas, ambas agendadas com uma semana de

antecedência, reuniões planejadas, teste de novos produtos, finais de semana, feriados não planejados para produção. São atividades não consideradas como perdas, excluídas do cálculo do OEE, mas contabilizadas no TEEP;

4. Perdas de Velocidade (*Speed Loss*): Representa o percentual de redução do OEE devido à diferença entre o tempo de ciclo atual e o teórico relacionado a cada diferente tipo de produto;
5. Perdas por não qualidade (*Quality rate*): É a relação entre a quantidade de produtos dentro das especificações de qualidade pela quantidade total de produtos produzidos. Representa o percentual de redução do OEE devido aos problemas de qualidade.

Relacionando-se as perdas descritas por Hansen (2002) com os índices de disponibilidade, performance e qualidade que compõem o cálculo do OEE, temos as perdas (1) e (2) vinculadas ao índice de disponibilidade, a perda (4) à performance e (5) à qualidade. Com relação à categoria (3) Tempos excluídos, como descrito anteriormente, tem seu impacto percebido somente quando analisado sob o foco do TEEP, já que sob a análise do OEE estes tempos são excluídos do cálculo.

Utilizando-se a equação (8) para o cálculo de eficiência, são demonstrados abaixo os valores de OEE e TEEP, conforme exemplo de cálculo apresentado por Hansen (2002). As informações utilizadas para o exemplo são:

- Tempo total = 40 horas (40 horas X 60 minutos) ou 2400 minutos;
- Tempo de ciclo teórico = 4 minutos por unidade ou 0,25 minuto por unidade;
- Tempo de reparo + Tempo de parada = 570 minutos;
- Tempo excluído = 340 minutos;
- Unidades boas produzidas = 4362 unidades.

Tempo de Carga = Tempo Total – Tempos de Reparo – Tempos de Parada

Tempo de Carga = 2400 – 570

Tempo de Carga = 1830

Através da equação (8) calcula-se o valor do OEE.

$$OEE = \frac{Q \times X \times Tc}{T} \quad (8)$$

$$OEE = \frac{4362 \times 0,25}{1830} = \frac{1095,5}{1830} = 0,5959 = 59,6 \%$$

Para calcular o valor do TEEP, utiliza-se da equação (12).

$$TEEP = \frac{Q \times X \times Tc}{\text{Tempo total}} \quad (12)$$

$$TEEP = \frac{4362 \times 0,25}{2400} = \frac{1095,5}{2400} = 0,4544 = 45,5 \%$$

As abordagens CUBES e TEEP, como utilizam o tempo calendário total como base para o cálculo, ambas podem apresentar como resultado um mesmo valor percentual de eficiência, por outro lado, encontram-se diferenças quanto à conceituação dos tempos de paradas serem considerados ou não como perdas. No TEEP, paradas como reuniões planejadas, teste de novos produtos, manutenções preventivas programadas, entre outras paradas (Tempos excluídos), não são consideradas como perdas, mas são subtraídas do tempo calendário total para o cálculo do índice de disponibilidade. Já na métrica CUBES,

apresentada nas Figuras 11 e 12, todas as paradas são consideradas como perdas de disponibilidade e performance.

3 GKN DO BRASIL LTDA

3.1 Histórico da Empresa

A empresa GKN do Brasil LTDA (GDB) é do tipo capital limitado com fins lucrativos, pertencente ao grupo internacional *Guest, Keen & Nettlefolds Ltd.* (GKN), fundada em 1902, na Inglaterra. Os negócios da GKN estão divididos em dois seguimentos, Aeroespacial e Automotivo. O seguimento aeroespacial engloba a produção de helicópteros e estruturas aeroespaciais, enquanto que o seguimento automotivo engloba as divisões *Driveline*, *Sinter Metals*, *Emitec*, *OffHighway* e *AutoComponents*, conforme apresentado na Figura 13. A GDB pertence à divisão *GKN Automotive Driveline Division (GKN-ADD)*, líder mundial nesse seguimento, contando com 21.000 trabalhadores em 49 localidades distribuídas por 31 países. A GDB é uma empresa com faturamento médio anual superior a R\$ 220 milhões.

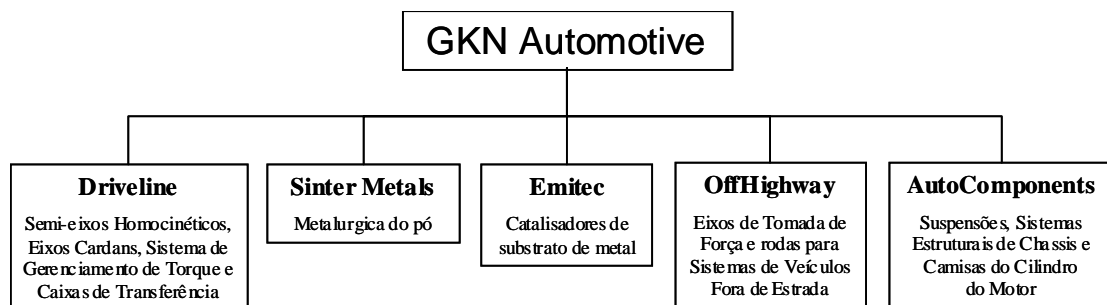


Figura 13: Divisões que compõem o seguimento GKN Automotive

Fonte: Empresa estudada

As raízes da GDB estão em julho de 1947, quando Ricardo Bruno Albarus fundou, na cidade de Porto Alegre - RS, a Albarus & Cia Ltda., com o objetivo de fabricar dispositivos e artefatos mecânicos de precisão.

Posteriormente, a empresa passou a chamar-se ALBARUS S.A. IND. E COM., quando já era uma das mais tradicionais e respeitadas empresas do ramo automotivo do país. Atenta ao desenvolvimento da indústria automobilística brasileira, a ALBARUS sentiu necessidade de aprimorar e aperfeiçoar ainda mais a já reconhecida qualidade de seus produtos. Assim, em 1957, associou-se à DANA CORPORATION - USA, buscando modernizar os processos e as técnicas de fabricação, bem como diversificar sua linha de produto.

A natureza do negócio da GDB foi consolidada a partir da associação com a GKN INDUSTRIES da Inglaterra, quando se criou a DJH - Divisão de Juntas Homocinéticas da Albarus, que iniciou suas atividades em 1974, produzindo semi-eixos homocinéticos para a indústria automotiva (vale mencionar que o Passat foi o primeiro veículo nacional com Semi-eixo Homocinético).

A DJH passou a operar como empresa independente em 1988, dando origem à ATH-Albarus Transmissões Homocinéticas Ltda, hoje conhecida como GDB. A GKN INDUSTRIES assumiu o controle acionário de 100% na GDB a partir de outubro 2000. Até então, a proporção acionária era de 35% DANA CORPORATION e 65% GKN INDUSTRIES.

A principal atividade-fim da GDB é a produção de conjuntos e componentes de transmissões homocinéticas, constituindo-se em uma empresa do ramo de atuação metal-mecânico (metalúrgico), realizando então a venda de transmissões homocinéticas para todos os veículos de passeio pertencentes ao mercado automotivo, atuando assim nos segmentos do mercado original (OEM), de revenda (OES) e de exportação (OEM).

A GDB opera em duas áreas de manufaturas instaladas em Porto Alegre e

Charqueadas no estado do Rio Grande do Sul. A fábrica de Porto Alegre constitui-se em uma planta de 64 mil m² de área total, possuindo um parque industrial de aproximadamente 32 mil m² de área construída. A fábrica de Charqueadas, instalada desde 1995, ocupa uma área total de 216 mil m², tendo 6,3 mil m² de área construída e fornece forjado de precisão e eixos interconectores para a produção de semi-eixos homocinéticos (SEH) para a fábrica de Porto Alegre. A GKN conta atualmente com 1440 funcionários e 62 estagiários.

A aplicação dos SEH é realizada em todos os veículos de passeio da indústria automotiva do Brasil (OEM/OES) [VWB, GMB, Ford, Fiat, Honda, Toyota, Audi, Renault, PSA (Peugeot/Citröen) e Mercedes Benz] e para a Mazda (USA). No mercado de exportação, os clientes da GDB são empresas que fazem parte do grupo GKN Driveline, líder na participação do mercado mundial, as quais fornecem os produtos para as montadoras mundiais citadas anteriormente.

3.2 Produtos

O principal produto da GDB é o Semi-Eixo Homocinéticos (SEH) (a Figura 14 mostra alguns dos componentes aplicados no SEH), também conhecido no mercado como junta homocinética ou transmissão homocinética. Projetadas com a função de conectar dois eixos não alinhados, os SEH's estão disponíveis em diferentes tipos construtivos e têm como principal objetivo permitir a transmissão de torque do motor para as rodas, mantendo a velocidade constante, sem vibrações e ruídos, independente da variação do ângulo entre os eixos. No caso de um veículo de tração dianteira, a variação do ângulo é consequência de movimento de exerceamento das rodas dianteiras e das oscilações da suspensão do veículo.

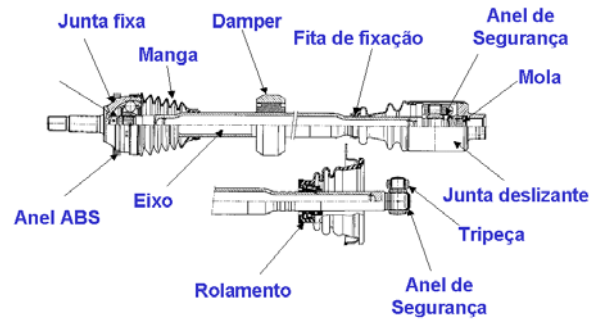


Figura 14: Componentes do semi-Eixo Homocinético (SEH)

Fonte: Empresa estudada

O SEH é instalado em pares nos veículos, sendo que seus principais componentes são:

- Juntas Fixas: são de construção compacta e transmitem torque e rotação em ângulos de até 50 graus, garantindo a velocidade constante. Montadas no lado da roda dos veículos com tração dianteira, suportam também forças axiais;
- Juntas Deslizantes: fabricadas em forma de disco ou monobloco. São projetadas para transmitir torque com rotação em ângulo de até 22 graus. São utilizadas principalmente no lado do diferencial de veículos com tração dianteira, no lado diferencial e roda nos veículos de tração traseira, e como juntas de alta velocidade para eixos longitudinais de propulsão, absorvendo também deslocamentos axiais, devido ao movimento da suspensão.

3.3 Metodologias e Ferramentas

A melhoria contínua nos produtos e processos sempre foi um diferencial da GDB, buscando continuamente a aplicação de metodologias e ferramentas mais avançadas disponíveis no mercado mundial, sendo algumas vezes pioneira no Brasil.

A Qualidade que, segundo Slack (2002), é uma das vantagens competitivas em manufatura, sempre foi tratada pela GDB como prioridade. Em 1979, buscando atender aos

requisitos da Ford do Brasil, a GDB iniciou um plano de implementação do Controle Estatístico de Processo (CEP). A primeira etapa de implementação foi dada a partir de um treinamento ministrado pela Ford *in company* para 40 funcionários que passaram a disseminar os conceitos do CEP dentro da empresa. Em 1982, a GDB já estava com o plano de implementação concluído, tendo todas as características críticas do processo e produto monitoradas por cartas de controle.

Ainda no ano de 1982, tiveram início as primeiras atividades dos Círculos de Controle da Qualidade (CCQ), desenvolvendo atividades de melhorias promovidas por pequenos grupos, mantendo-se ativa até os dias de hoje. A participação dos funcionários na geração e implementação de projetos de melhorias foi de aproximadamente 55%, gerando um número de 826 projetos no ano de 2003, dos quais 652 foram implementados.

A implantação da metodologia de Troca Rápida de Ferramentas (TRF) teve início no ano de 1988, a partir de um curso intitulado “Excelência em Manufatura”, o qual abordava técnicas japonesas de manufatura (SEIDEL, 2003).

A evolução da TRF na GDB é apresentada por Seidel (2003) e está dividida em quatro fases:

- Fase 1 – A introdução da TRF (1988 – 1992);
- Fase 2 – Formalização de uma estrutura para o programa de TRF (1992 – 1994);
- Fase 3 – Descentralização da estrutura de TRF (1994 – 1999);
- Fase 4 – Criação de uma metodologia ampla para o programa de TRF (1999 – 2002).

A implantação da TRF na GDB permitiu à empresa acompanhar as mudanças impostas pelo mercado nacional e internacional ao longo dos anos, não envolvendo apenas os aumentos de demanda (Figura 15), mas também a variedade de produtos (Figura 16). Esses dois fatores, associados à necessidade de redução dos níveis de inventário, levaram à redução gradual dos tamanhos dos lotes, tornando-se crucial para a empresa a utilização de um programa sustentado de TRF.

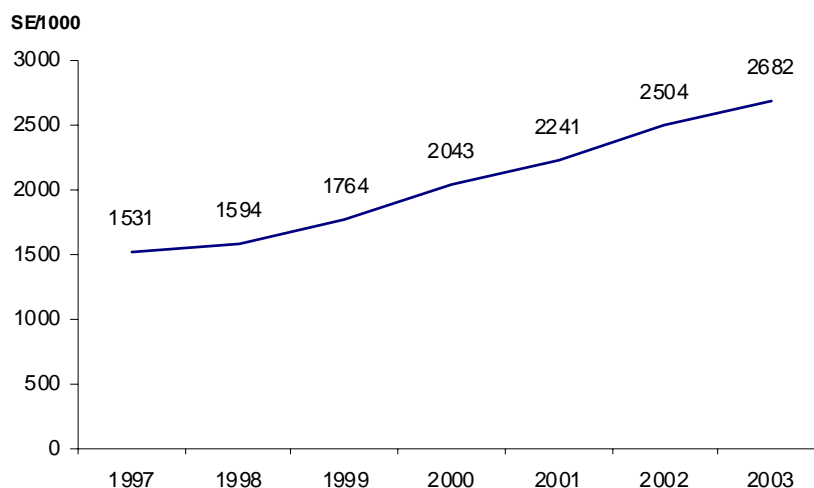


Figura 15: Produção anual de Semi-eixos GDB

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

No ano de 1993, a empresa iniciou a aplicação da metodologia TPM, buscando, na época, a melhoria dos equipamentos a partir do trabalho conjunto entre operadores e técnicos de manutenção. A iniciativa de implementar a TPM partiu da necessidade de sustentar um crescimento da produção de semi-eixos projetado para a década de 90, atender a elevação crescente do número de novos produtos, bem como reduzir as perdas com consumo de óleo hidráulico de 23.873 litros/mês em 1993 e o percentual de horas paradas perdidas devido às quebras de máquinas que era de 13,4 % em 1992 (DIAS, 1997). No ano de 1998, a partir de visita técnica em plantas da GKN na Europa, a GDB implementou mudanças na metodologia TPM, atualizando alguns conceitos, destacando, entre outros, a implantação do indicador de OEE. Essas atualizações conceituais tiveram como base as diretrizes da JIPM. As visitas técnicas ocorreram em duas plantas na Alemanha, ambas vencedoras de Prêmios TPM *Award* concedidos pela JIPM. As atividades dos grupos de CCQ tiveram papel importante no desenvolvimento rápido do TPM na GDB.

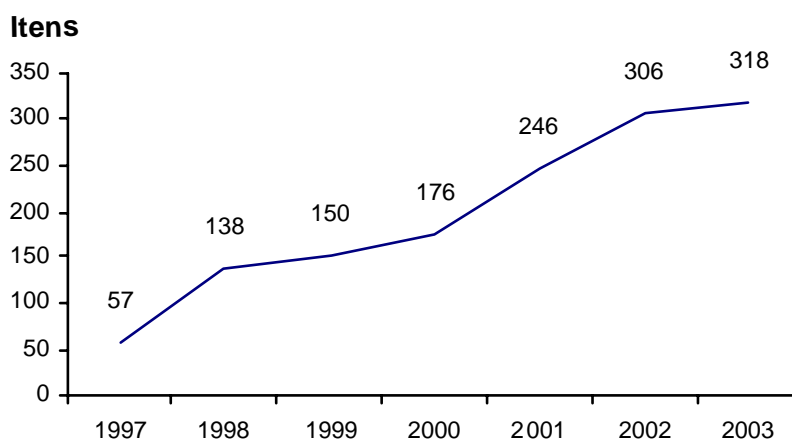


Figura 16: Aumento da variedade de itens em produção na GDB
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

Em 1994, buscando alcançar os mesmos resultados obtidos pelo TPM no chão de fábrica, foi dado início à implementação do 5 S nas áreas de apoio, buscando, através da utilização dos cinco sentidos (Descarte, Limpeza, Organização, Padronização e Disciplina), proporcionar aos funcionários uma melhor qualidade de vida no trabalho e conseqüente melhoria na qualidade dos produtos, processos e serviços.

Muitas outras ferramentas, metodologias e certificações foram conquistadas, buscando sempre a melhoria contínua da qualidade de seus produtos, como apresentado na Figura 17. A aplicação estratégica dessas metodologias e ferramentas de engenharia de produção propiciou à GDB um crescimento contínuo e sustentado em um mercado cada vez mais competitivo como o automobilístico.

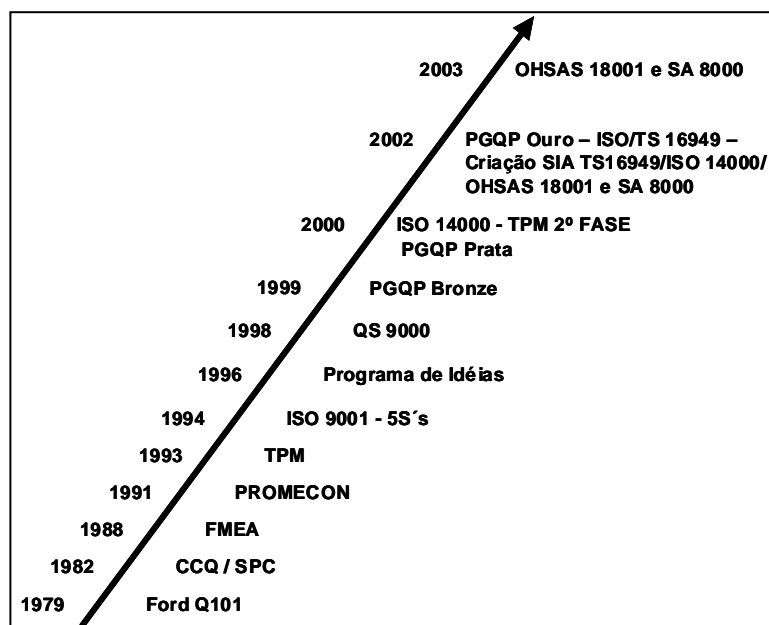


Figura 17: Histórico dos programas de qualidade GDB

Fonte: Empresa estudada

3.4 Estrutura Fabril

A estrutura fabril da GDB é composta por seis unidades de manufatura: uma unidade de montagem, uma unidade de forjaria e quatro unidades de usinagem, conforme apresentado na Figura 18. Áreas como recursos humanos, controladoria, vendas, tecnologia da informação, melhorias, engenharia industrial, suprimentos e gestão da qualidade atuam como apoio às unidades de manufatura.

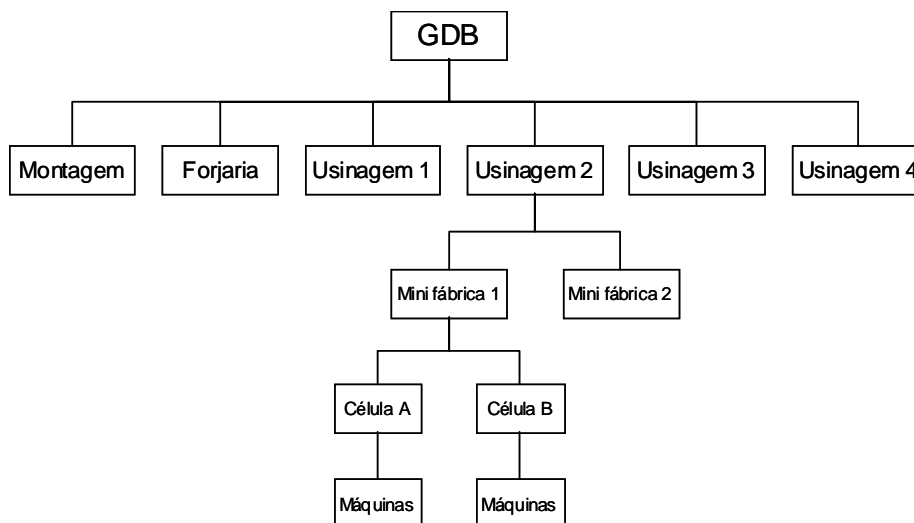


Figura 18: Estrutura fabril organizada em unidades de manufatura

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

As unidades de manufatura de usinagem são formadas por mini fábricas compostas por células de manufaturas. Os equipamentos que compõem essas células estão dispostos em forma de U, permitindo a otimização da área fabril, a utilização de operadores multifuncionais, entre outras vantagens apresentadas pelo *layout* celular. A interligação entre os equipamentos que compõem as células é feita a partir de esteiras acionadas, esteiras por gravidade ou pelos próprios operadores.

A GDB conta atualmente com mais de 300 equipamentos produtivos operando nas plantas de Porto Alegre e Charqueadas.

Principais equipamentos:

- Tornos de usinagem CNC;
- Frezadoras especiais;
- Máquina especial CNC para entalhado e rosca;
- Fornos de tratamento térmico;
- Retíficas especiais para usinagem CNC;
- Cabine de pintura especial e fosfatização;

- Solda a fricção;
- Máquinas especiais de têmpera de indução;
- Máquinas especiais de fabricação de eixos tubulares;
- Células especiais de montagem do SEH de CNC;
- Prensas especiais de forjamento a morno e frio;
- Máquinas de ensaios não destrutivos;
- Equipamentos de teste de produto; e
- Equipamentos para tratamento de efluentes (ETE - Estação de Tratamento de Efluentes, tais como físico-químico; biológico; lubrodal e fosfato).

Os recursos materiais e tecnológicos das instalações de manufatura, projeto, qualidade e tratamento de efluentes, utilizados na fabricação do SEH, são permanentemente atualizados conforme as exigências de mercado e legislações.

As unidades de manufatura (UM) operam de forma descentralizada com uma estrutura formada por gerente, chefias, lideranças de manufatura e operadores. As áreas de manutenção e pré-set pertencem à lotação das unidades de manufatura respondendo operacionalmente para o gerente da UM. Áreas de apoio como engenharia de processos e qualidade não respondem para este gerente, mesmo tendo seu trabalho diário focalizado na UM.

A área de manutenção exerce papel estratégico dentro da GDB, buscando a manutenção e melhoria contínua dos indicadores de produtividade e OEE. Em 1991, depois de ocorrida a descentralização da produção, a administração da manutenção passou de centralizada para uma administração descentralizada. Com essa descentralização, as equipes de manutenção e produção passaram a trabalhar mais próximas, permitindo ações e reações mais rápidas às demandas vindas da produção. A atuação focalizada das equipes de manutenção nas suas respectivas unidades de manufatura tornou os técnicos de manutenção

especialistas nas máquinas de suas unidades. O contato freqüente entre as equipes de manutenção e produção levou à quebra do paradigma “Eu conserto, você opera” até então predominante na empresa. O bom relacionamento entre essas áreas permitiu ações corretivas, preventivas e de melhorias mais rápidas e efetivas, já que a responsabilidade pela conservação dos equipamentos passou a ser de ambas as áreas.

Em 2003, a administração da produção passou a ser gerida operacionalmente pelo indicador OEE. O estudo desse indicador associado aos números de liberação dos equipamentos permitiu a empresa determinar com acuracidade quais eram os equipamentos gargalos em cada célula de manufatura. Estudos direcionados aos equipamentos gargalos, a partir do desdobramento das perdas do cálculo do OEE, passaram a ser avaliados sistematicamente no dia-a-dia nas unidades de manufatura. Os resultados destes estudos foram traduzidos em planos de ação envolvendo quebras de equipamentos, problemas de qualidade, problemas relacionados à aderência dos equipamentos aos tempos de ciclo teóricos, bem como a inúmeros projetos de melhorias, foram direcionados em grande parte para as áreas de manutenção. De modo a atender a demanda pelos recursos de manutenção, seja como responsável pela ação ou como meio de implementação, novas mudanças na administração da manutenção foram efetuadas. No ano de 2004, buscando adequar suas ações às necessidades da manufatura, a área de manutenção passou por mais uma mudança. A partir de então, a administração passou a operar sob uma estrutura mista, integrando vantagens das estruturas centralizadas e descentralizadas, conforme apresentado na Figura 19 estrutura descentralizada e Figura 20 a estrutura mista.

Na estrutura antiga, Figura 19, todas as diretrizes eram passadas pelas gerências de cada unidade de manufatura quanto ao controle de custos e às atividades de manutenção corretiva e preventiva. Essas atividades eram executadas por uma equipe única de manutenção atendida conforme a necessidade e disponibilidade da manufatura.

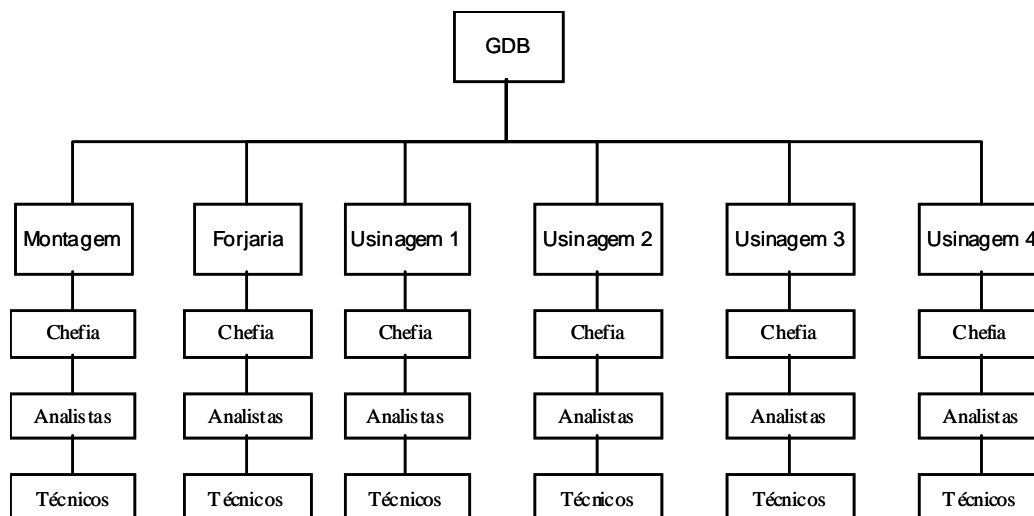


Figura 19: Administração da manutenção descentralizada
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

Sob a nova estrutura, Figura 20, as equipes de manutenção das unidades de manufatura foram divididas em corretiva e preventiva. O atendimento das necessidades de manutenção corretiva seguiu a orientação antiga, direcionada pelos gerentes de manufatura, enquanto que as atividades preventivas passaram a seguir as diretrizes da estrutura de manutenção centralizada, composta por um gerente e um analista. Dessa forma, as chefias de manutenção passaram a responder matricialmente para os gerentes de manufatura e para o gerente de manutenção. A estrutura centralizada e as equipes de manutenção preventiva passaram a trabalhar em conjunto, definindo cronogramas de paradas preventivas junto às unidades de manufatura, métodos de execução das mesmas, bem como a troca de boas práticas entre as unidades. Os custos de manutenção passaram a ser gerenciados pelo gerente de manutenção juntamente com as chefias de manutenção, possibilitando, dessa forma, direcionar os recursos para as áreas que pontualmente apresentem necessidades, respeitando o orçamento de cada unidade.

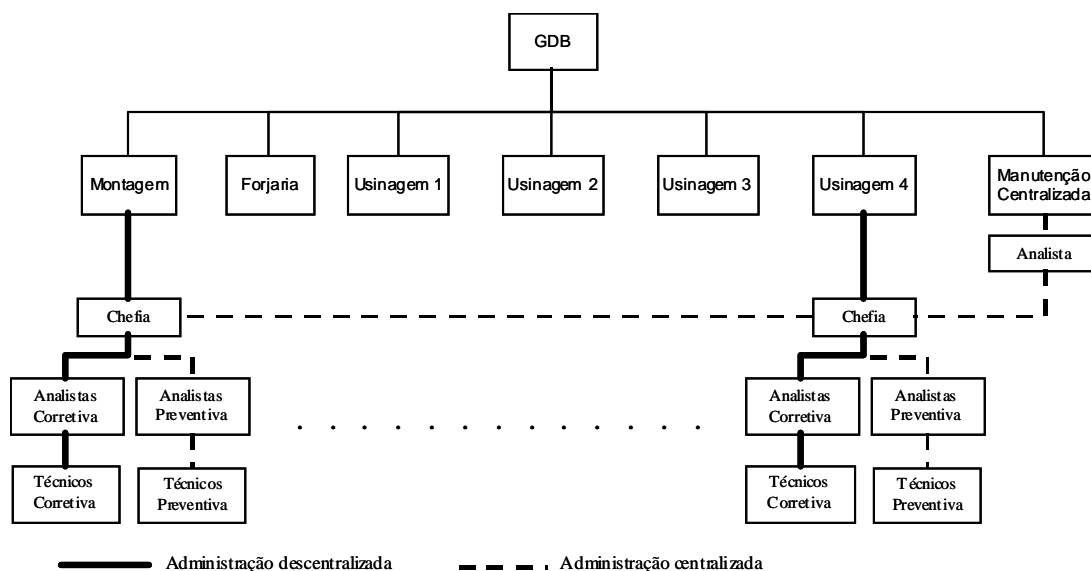


Figura 20: Administração da manutenção mista
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

3.5 Implantação do Indicador de OEE na GDB

A implantação do indicador do OEE na GDB ocorreu em 1998, a partir de informações obtidas em uma visita técnica relacionada à metodologia TPM, realizada em duas plantas da GKN na Alemanha, como citado na seção 3.3.

Com o objetivo de efetivar a atualização da TPM na GDB, com base nas diretrizes JIPM, as quais estabelecem como um dos principais objetivos maximizar a eficiência dos equipamentos (NAKAJIMA, 1993), foi desenvolvido, no sistema corporativo, um módulo de cálculo de OEE para os equipamentos das plantas de Porto Alegre e Charqueadas, de modo a permitir monitorar os resultados da TPM. O método de cálculo utilizado segue o modelo de Nakajima, apresentado na seção 2.4., porém abordando de forma mais ampla as perdas relacionadas aos problemas de gestão. Jeong e Phillips (2001) e Hansen (2002) abordam, em seus modelos de perdas, paradas relacionadas à gestão, porém não existe, por parte dos autores, destaque para mesmas. As perdas por gestão serão abordadas mais detalhadamente na

seção 3.5.2., discutindo a importância de seus efeitos na OEE dos equipamentos.

3.5.1 Tipologia de Parada de Equipamentos e Coleta de Dados

Os primeiros registros de paradas de equipamentos efetuados na GDB foram introduzidos pelas cartas de controle de CEP. As cartas de controle apresentavam em seu verso espaço para relatar os problemas ocorridos com os equipamentos durante os turnos de trabalho. Problemas como quebras relacionadas a manutenções, regulagens, *setup*, colisões, entre outros motivos, eram registrados nessas cartas. Os dados registrados eram motivos de estudos por parte da área de qualidade, porém não eram tratados e contabilizados sistematicamente. Desse modo, não era possível construir uma base de dados histórica que permitisse, por parte das áreas produtivas, avaliar seus resultados através de indicadores relacionados às paradas. A análise dos dados de parada das cartas era feita de maneira pontual, analisando-se somente o período referente ao aparecimento da anomalia até o momento que se obtinha novamente o controle do processo. Com a implementação do sistema corporativo desenvolvido em banco de dados Oracle, em 1998, foi possível armazenar esses dados no sistema, permitindo obter informações de maneira rápida através de relatórios de paradas de todos equipamentos da empresa. Com esse recurso disponível no sistema, a empresa passou a monitorar o indicador de disponibilidade dos equipamentos.

Em 1999, foi desenvolvido, pela área de Sistemas da Informação da GDB, um módulo específico para o cálculo de OEE. Para o cálculo de OEE, além dos dados de paradas, são utilizados os registros de tempo de ciclo teóricos por item e os registros de sucata e retrabalho, todos disponíveis no sistema corporativo, representando respectivamente os índices de disponibilidade, performance e qualidade.

As cartas de controle deixaram de ser utilizadas para coleta de dados de paradas e

Com o objetivo de facilitar o preenchimento dos dados de parada no DB e nos sistemas automáticos de coleta, foi criada uma tipologia de paradas envolvendo as principais causas de paradas nos equipamentos, conforme apresentado na Figura 22. Esta lista de motivos de parada utilizada inicialmente na implementação das cartas de controle na empresa foi aprimorada ao longo dos anos, de modo a representar as interrupções mais comuns dos equipamentos. A tipologia de paradas tem como finalidade representar as perdas do índice de disponibilidade que afetam a OEE dos equipamentos.

De posse dessa tipologia, os operadores passaram a registrar as paradas e quantidades de produção de seus equipamentos, em todos os turnos de trabalho. Finalizados os turnos, os DB são recolhidos e seus dados lançados no sistema corporativo pelas lideranças das áreas. Para a coleta automática de dados, foram desenvolvidas interfaces de comunicação entre os fabricantes dos sistemas de coleta e a área de tecnologia da informação da GDB, que permitiram a gravação automática dos dados no sistema corporativo.

1	Manutenção Corretiva - Mecânica	14	Engenharia / Protótipo
2	Manutenção Corretiva - Eletrônica	15	Preenchimento de Documentação
3	Manutenção Corretiva - Preset	16	Sem Programação de Produção
4	Manutenção Preventiva	17	Falta de Peças
5	Falha Energéticos (Ar, Água, Energia, etc)	18	Falta de Matéria-prima
6	Regulagem de Máquina	19	Falta de Dispositivo / Documentação
7	Setup	20	Falta de Ferramenta
8	Troca de Ferramentas de corte	21	Aguardando Liberação Dimensional
9	Aquecimento	22	Transporte de Peças
10	Refeição	23	Falta de Operador
11	Reunião	24	Operador Fazendo Outra Operação
12	TPM Operador	25	Aferição de Dispositivos
13	Ginástica Laboral	26	Aguardando Operação Posterior

Figura 22: Tipologia de parada de equipamentos
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

Outra coleta de dados necessária para efetivar o cálculo do OEE está relacionada aos problemas de qualidade, os quais, na GDB, são registrados em cartões de sucata e retrabalho. Esses cartões são recolhidos, mas somente são lançados no sistema após análise crítica por parte dos analistas de qualidade das unidades de manufatura.

3.5.2 A Tipologia de Paradas e as Perdas do Cálculo de OEE

A tipologia de paradas apresentada na seção anterior representa, no cálculo da OEE, as perdas relacionadas ao índice de disponibilidade. A partir do modelo proposto por Nakajima, a empresa estudada inseriu uma sétima perda ao modelo, chamada de perda por gestão, conforme apresentado na Figura 23.

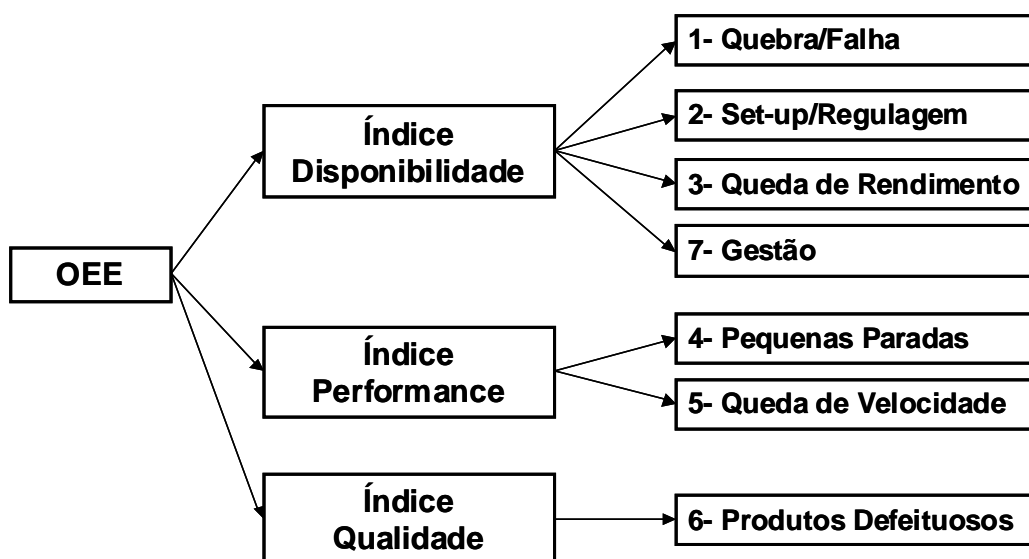


Figura 23: Relacionamento entre o OEE e seus índices e perdas
Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 24, é apresentado o *link* entre as perdas do índice de disponibilidade e a tipologia de paradas, sendo a perda por gestão dividida em perda programada e não programada. A perda por gestão programada não entra no cálculo do tempo de carga, não afetando o resultado da OEE, enquanto que a perda não programada recebe o mesmo tratamento das demais perdas do índice de disponibilidade, afetando o resultado final da OEE, conforme a Figura 25. As perdas por gestão se caracterizam por perdas não associadas diretamente ao equipamento, porém impedem que o equipamento permaneça em produção.

As perdas por gestão não são abordadas por Nakajima (1993), que considera no cálculo somente as perdas relacionadas aos problemas causados pelos equipamentos. Jeong e

Phillips (2001) e Hansen (2002) abordam, em seus modelos de perdas, algumas paradas relacionadas à gestão, porém não existe, por parte dos autores, destaque para as mesmas. Jeong e Phillips (2001) apresentam um detalhamento maior que Hansen (2002) quanto a essas perdas, inserindo ao índice de disponibilidade as perdas por paradas não programadas, paradas programadas, pesquisa e desenvolvimento, engenharia, falta de peças, falta de operador e outras perdas.

1- Perda por Quebra/Falha	1	Manutenção Corretiva - Mecânica
	2	Manutenção Corretiva - Eletrônica
	3	Manutenção Corretiva - Preset
	5	Falha Energéticos (Ar, Água, Energia, etc)
	6	Regulagem de Máquina
	8	Troca de Ferramentas de corte
2- Perda por Setup e Regulagens	7	Setup
3- Perda por Queda de Rendimento	9	Aquecimento
7A- Perda por Gestão (Paradas Programadas)	10	Refeição
	13	Ginástica Laboral
	16	Sem Programação de Produção
7B- Perda por Gestão (Parada não programada)	4	Manutenção Preventiva
	11	Reunião
	12	TPM Operador
	14	Engenharia / Protótipo
	15	Preenchimento de Documentação
	17	Falta de Peças
	18	Falta de Matéria-prima
	19	Falta de Dispositivo / Documentação
	20	Falta de Ferramenta
	21	Aguardando Liberação Dimencional
	22	Transporte de Peças
	23	Falta de Operador
	24	Operador Fazendo Outra Operação
25	Aferição de Dispositivos	
26	Aguardando Operação Posterior	

Figura 24: Relacionamento entre as perdas e os motivos de parada

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

O desdobramento mais detalhado das perdas por gestão foi desenvolvido por parte da empresa estudada a partir de estudos do cálculo da OEE, comparando o método de Nakajima (1993), envolvendo as seis grandes perdas com o modelo proposto neste trabalho, que inclui, no cálculo, as perdas por gestão. O módulo de cálculo da OEE existente no sistema

corporativo da empresa, o qual permite a geração de relatórios considerando ou não as perdas por gestão, serviu como base para os estudos. O sistema dispõe também de relatórios de OEE que permitem a análise por dia e por produto, conforme apresentado no Anexo A. A partir desses relatórios, concluiu-se que as perdas por gestão afetam o resultado final da OEE. A Figura 26 apresenta um gráfico de OEE aplicado a um equipamento gargalo de uma célula de manufatura, apresentando os resultados de OEE, levando em conta as perdas por gestão. A partir desses resultados, a empresa estudada passou a focar as perdas por gestão nos planos de ação de OEE.

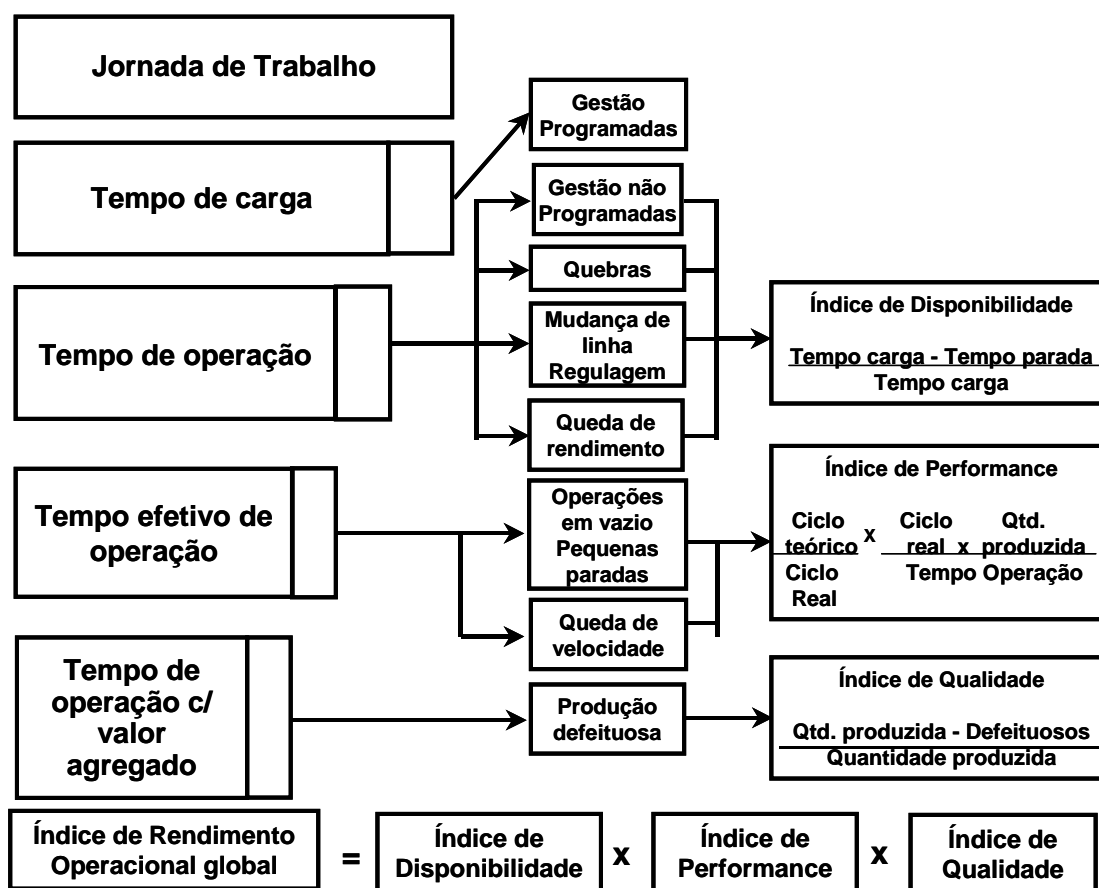


Figura 25: Modelo de cálculo do OEE
Fonte: Adaptado de Nakajima, 1989, p. 26

As áreas de apoio, de modo geral, não entendem a sua função no dia-a-dia da fábrica, na busca da melhoria contínua da OEE dos equipamentos. Desse modo, o desdobramento das perdas por gestão permitiu aos funcionários das áreas de apoio entender de forma mais clara o impacto do seu trabalho no chão de fábrica, sendo essa uma das funções do monitoramento das perdas por gestão.

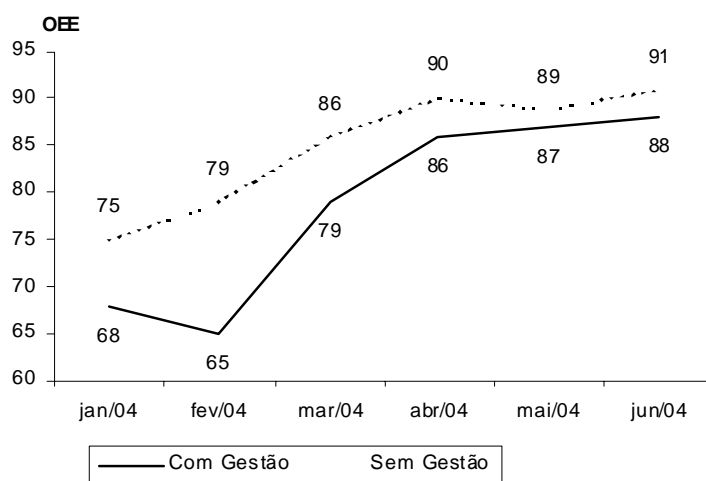


Figura 26: Comparativo da OEE de um equipamento com e sem as perdas por gestão
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4 ESTUDO PRÁTICO

4.1 Introdução

A utilização da OEE pela GDB como o indicador operacional da manufatura ocorreu em setembro de 2003. Até então, este indicador era utilizado somente nos equipamentos onde a metodologia TPM estava sendo implantada, conforme abordado no capítulo 3, e por algumas unidades que viam a OEE como um meio de melhorar a gestão de seus equipamentos. Outras áreas acompanhavam os números, mas não o analisavam de maneira sistêmica.

A adoção da OEE partiu de uma diretriz da GKN Driveline para todas as suas plantas por intermédio da implantação dos conceitos de manufatura enxuta “*Lean Manufacture*”, chamada pela GKN de *Lean Enterprise*. Os conceitos da metodologia de manufatura enxuta passaram a ser o modelo de gestão das plantas da GKN Driveline em janeiro de 2004. A análise sistêmica do indicador de OEE pela GDB, em setembro de 2003 teve como principais motivos, além da implantação do *Lean Enterprise*, a necessidade de preparar as plantas de Porto Alegre e Charqueadas para o aumento de demanda previsto para a empresa. Os investimentos em novos equipamentos somente seriam liberados depois de melhorada a OEE dos equipamentos existentes na GDB. Desde então, reuniões semanais envolvendo as pessoas das áreas de apoio e produção têm sido realizadas pelas unidades de manufatura, nas quais são

analisadas criticamente as eficiências dos equipamentos gargalo de cada célula. A partir destas análises, são gerados planos de ação de modo a melhorar continuamente a OEE dos equipamentos. Mensalmente as análises e planos de ação são apresentados e discutidos junto à diretoria.

Os estudos práticos foram desenvolvidos em duas células da Unidade de Manufatura de Juntas Deslizantes compreendendo o período de janeiro a julho de 2004. Os meses de setembro a dezembro de 2003 não foram incluídos no estudo por tratar-se de um período de treinamento e assimilação dos conceitos que envolvem a análise da OEE. Foi necessário rever junto aos operadores e lideranças da produção o entendimento de algumas paradas de equipamento que estavam sendo registradas com códigos errados, a correção dos tempos de engenharia no sistema corporativo que se encontravam desatualizados, bem como o entendimento pleno do cálculo de OEE.

As informações utilizadas nesse estudo foram obtidas dos relatórios de OEE disponíveis no sistema corporativo, a partir de coletas diárias de dados através do preenchimento dos diários de bordo, dos registros de sucata e retrabalho e dos dados de tempos de ciclos armazenados no sistema. A análise crítica dos dados concentra-se na operação gargalo de cada célula, a partir do desdobramento dos índices do OEE.

4.2 Estudo de Caso 1 “Célula Monobloco”

4.2.1 Produto

O produto fabricado nessa célula de manufatura é a Ponteira Monobloco, uma das peças que compõem a Junta Deslizante, conforme apresentado na Figura 14, no capítulo 3. Segundo Flesch (2002), esse tipo de junta é utilizado acoplado ao diferencial (lado do motor)

nos veículos com tração dianteira, podendo ser utilizado também em veículo com tração traseira no lado da roda. A ponteira Monobloco pertence ao grupo de Juntas Deslizantes que utilizam componentes com esferas.

4.2.2 Fluxo Produtivo

O fluxo produtivo dessa célula de manufatura da ponteira monobloco é composto por um total de dezoito operações, conforme apresentado na Figura 27. De todas essas operações, as operações 30, 40, 60, 80, 90, 125, 141 e 150 são processadas por máquinas operatrizes, tornando-as mais complexas em comparação com as demais. Essa maior complexidade se deve às tecnologias aplicadas a cada uma das operações, por representar os maiores valores financeiros relacionados aos valores de aquisição, manutenção e ferramentais, bem como a necessidade da atuação do homem na preparação e ajustes dos equipamentos. Nas operações 30, 40, 60, 125 e 150 a atuação do homem inclui também a carga e descarga de peças e a partida do ciclo de usinagem. Estas oito operações são monitoradas pelo indicador de OEE.

As demais operações consideradas menos complexas, porém não menos importantes, envolvem as atividades de inspeção como as operações 93 e 220, executadas pelos operadores através de dispositivos e análises visuais, e a operação 95, realizada por um sistema de teste automatizado. As operações 110, 200, 210 e 222 são executadas durante o transporte das peças ao longo das esteiras transportadoras por pequenos equipamentos como lavadoras, oleadeiras, entre outros, sem a necessidade da intervenção do operador. A operação 210, na qual as peças são magnetizadas, é considerada de baixa complexidade e é operada por uma pessoa. Por fim, tem-se a operação 240, onde as peças são armazenadas e, posteriormente, enviadas para a célula de montagem de juntas deslizantes. Essa célula de monobloco tem seu *layout* configurado na forma de “U”, apresentando um baixo nível de automação entre as

operações. O regime de trabalho é de três turnos, e a operação é efetuada por seis funcionários em cada turno.

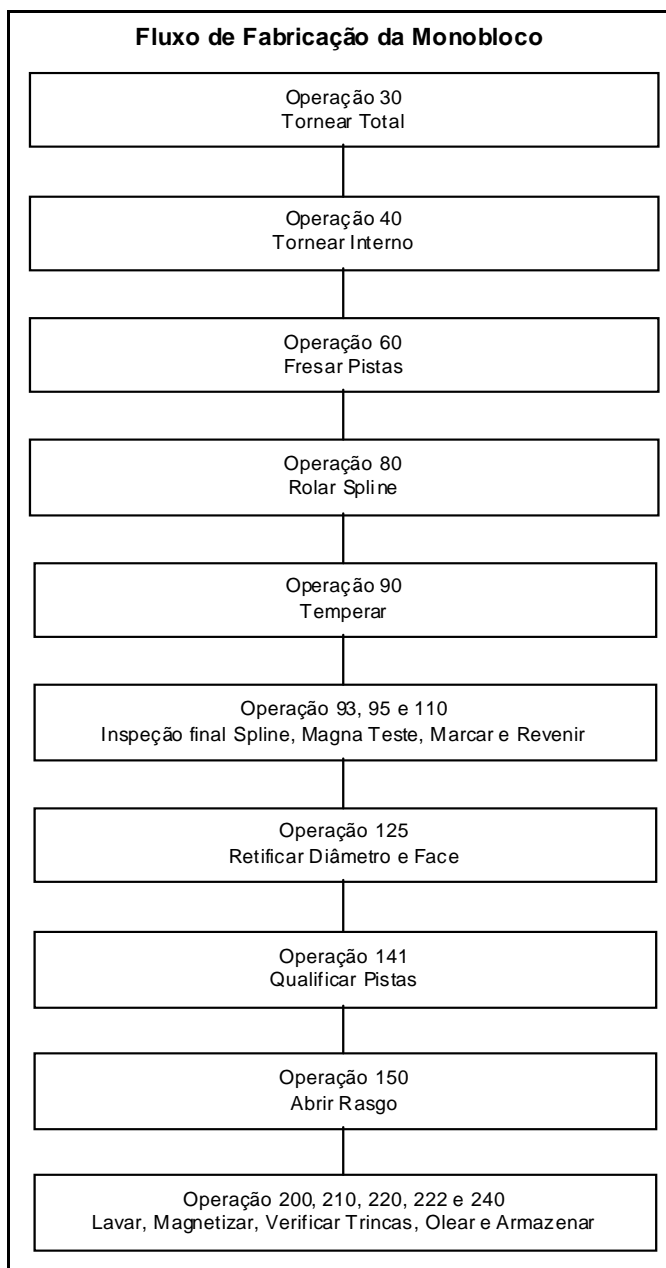


Figura 27: Fluxograma de fabricação da Ponteira Monobloco
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.2.3 Características dos Equipamentos

Os equipamentos que serão analisados nesta seção compõem as operações 30, 40, 60, 80, 90, 125, 127 e 140, consideradas mais complexas tecnologicamente, e que estão sob monitoramento do indicador de OEE. Essas operações são executadas por dez equipamentos, apresentando uma média de idade de 18 anos.

As operações 30 e 40 são compostas por tornos controlados por Comandos Numéricos Computadorizados (CNC) com carga e descarga manual, todos de fabricação brasileira. As demais operações são formadas por equipamentos importados da Alemanha, sendo que alguns desses equipamentos já passaram por reformas executadas internamente ou por empresas terceirizadas. Dentre essas operações, somente o equipamento da operação 60 possui comando CNC, sendo as demais comandadas por Controladores Lógicos programáveis (CLP) e tendo seus movimentos principais executados por dispositivos hidráulicos. As operações de carga e descarga de peças são executadas pelos operadores nas operações 60, 90, 125 e 140, enquanto que, nas operações 80 e 127, a carga e descarga são automáticas.

4.2.4 Identificação do Gargalo

O critério para definição da operação gargalo nas células de manufatura definido pela GDB está apoiado no estudo dos tempos de ciclo, sendo a operação com maior tempo de ciclo o gargalo da célula.

Como as células de manufatura produzem diferentes tipos de peças, as quais apresentam diferentes tempos de ciclo, determinam-se os valores dos tempos de ciclo a partir da ponderação desses tempos quanto a sua participação no *mix* de produção do período de análise. Esse período de análise para a determinação da operação gargalo na GDB é de um mês.

Nos sete meses estudados, a célula de monobloco produziu uma média de onze diferentes tipos de produtos por mês, tendo como gargalo a operação 150, que é composta por um equipamento.

4.2.5 Análise do OEE do Gargalo

O crescimento de OEE alcançado na célula de monobloco no período de janeiro a julho de 2004, foi de 9%, conforme apresentado na Figura 28. O melhor resultado no período analisado ocorreu no mês de julho quando foi atingido o valor de 79% de OEE, o que representou um aumento de 15% comparado ao resultado do mês de janeiro de 2004. O resultado positivo ocorreu devido à melhora no índice de performance. As análises de cada um dos índices serão feitas nas seções seguintes.

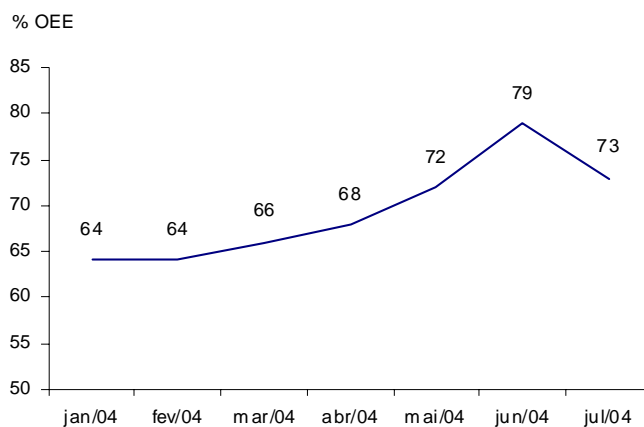


Figura 28: Evolução do indicador de OEE da operação gargalo da célula de Monobloco

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.2.6 Análise de Disponibilidade

O índice de disponibilidade não apresentou melhoria significativa nos seus resultados no período estudado, como pode ser visto na Figura 29. Os motivos de parada citados nesta seção seguem a tipologia de paradas apresentadas na Figura 22, no capítulo três. No mês de junho, registrou-se o melhor resultado do período, com aumento de 6%, devido a uma redução no percentual da perda 17 – Falta de peças que atingiu o valor de 1,26%, conforme apresentado na Figura 30. O mesmo resultado não foi obtido em julho devido aos problemas de fornecimento de aço, quando se registrou uma perda de 6,3% devido ao motivo de parada de número 18, referente à falta de matéria-prima.

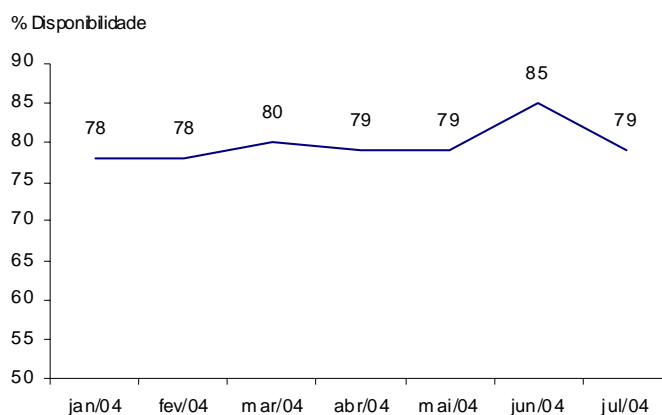


Figura 29: Evolução do índice de disponibilidade da operação gargalo da célula de Monobloco

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

Dentre os principais motivos de parada registrados no período estudado, encontram-se os motivos 1 – Manutenção corretiva mecânica, 2 - Manutenção corretiva eletrônica, 4 - Manutenção preventiva, 6 – Regulagem de máquina, 7 - *Setup*, 11 - Reunião, 12 – TPM operador e 17 – Falta de peças. Os gráficos de pareto dos motivos de parada dos meses de janeiro a julho de 2004 encontram-se no Apêndice A.

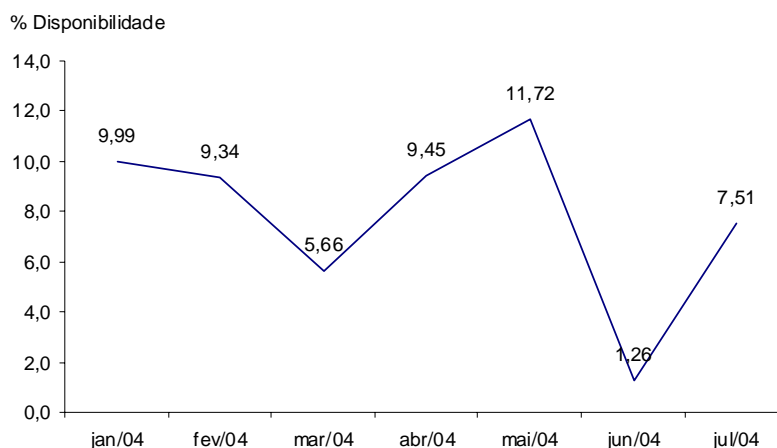


Figura 30: Parada pelo motivo de Falta de peças
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

O início das atividades de manutenção preventiva aplicadas à operação 150, a partir de abril (Figura 31), possibilitou a redução do percentual de paradas de manutenção corretiva mecânica, motivo de parada de número 1, conforme a Figura 32, o mesmo ocorrendo com a parada de número 6 – Regulagem de máquina com exceção do mês de junho de 2004 (Figura 33).

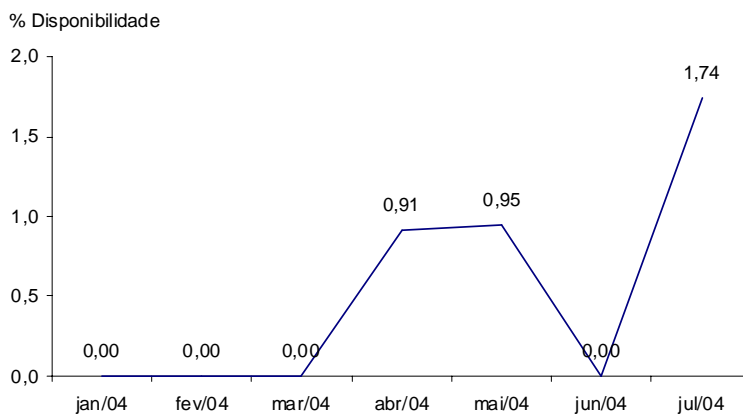


Figura 31: Parada pelo motivo de manutenção corretiva preventiva
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

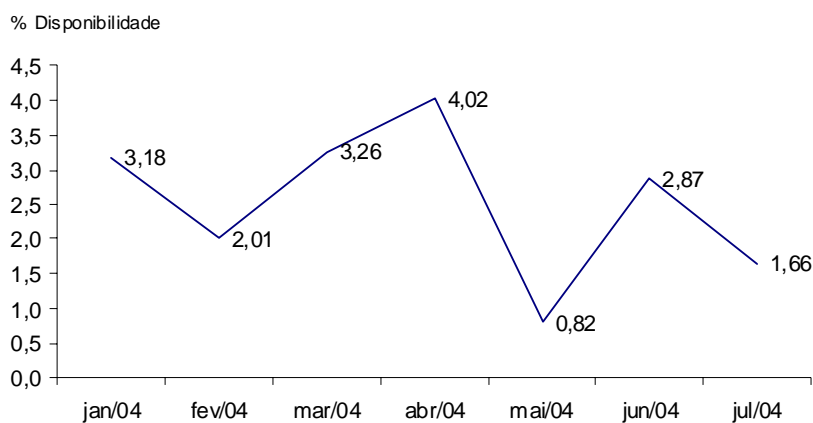


Figura 32: Parada pelo motivo de manutenção corretiva mecânica
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

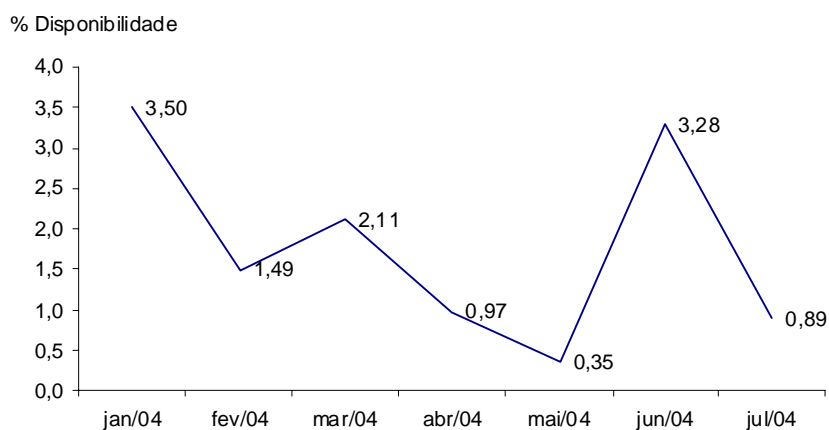


Figura 33: Parada pelo motivo de regulagem de máquina
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

A perda por *setup*, referente ao motivo de parada de número 7, não apresentou, no período, redução em seu valor percentual (Figura 34), exceto no mês de julho, quando chegou a um valor de 0,94% devido à frequência de *setup* ter ficado muito abaixo da média do período, conforme apresentado na Figura 35.

Os motivos de parada 11 – Reunião e 12 – TPM operador apresentam valores

percentuais de acordo com o determinado como aceitável pela empresa, por se tratar de atividades necessárias para a melhoria e manutenção dos resultados.

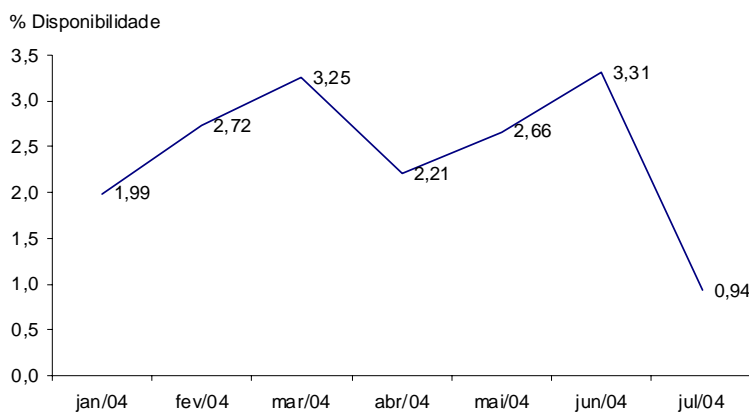


Figura 34: Parada pelo motivo de *setup*
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

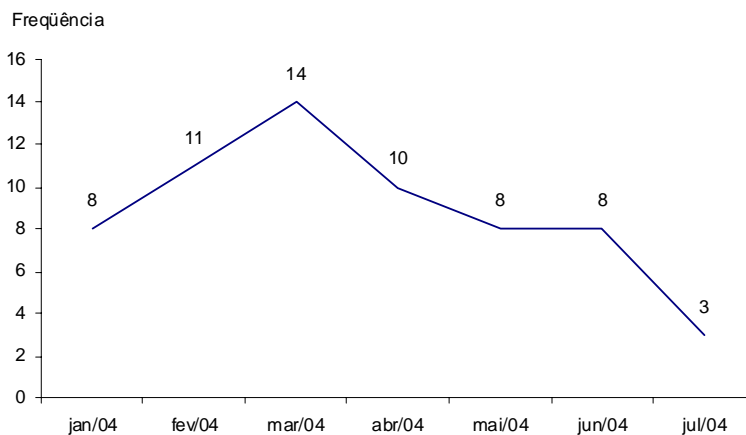


Figura 35: Frequência de *setup*
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.2.7 Análise de Performance

O índice de performance, em relação aos outros dois índices, foi o responsável pela melhoria da OEE na célula de monobloco. Este índice apresentou uma melhora de 10 pontos percentuais no período estudado, conforme apresentado na Figura 36.

A análise da performance, diferentemente da disponibilidade que tem seus registros apoiados em uma tipologia de paradas, necessita de cuidados maiores para a coleta de dados relacionados às perdas por pequenas paradas e queda de velocidade. Esses cuidados são necessários devido aos apontamentos dessas perdas não serem até então, uma prática regular por parte dos operadores, bem como pelas mesmas não estarem apoiadas a uma tipologia específica, sendo esses alguns dos fatores responsáveis por não terem sido obtidas melhorias consistentes nos meses de janeiro a março, quando o valor da performance se manteve em 83%.

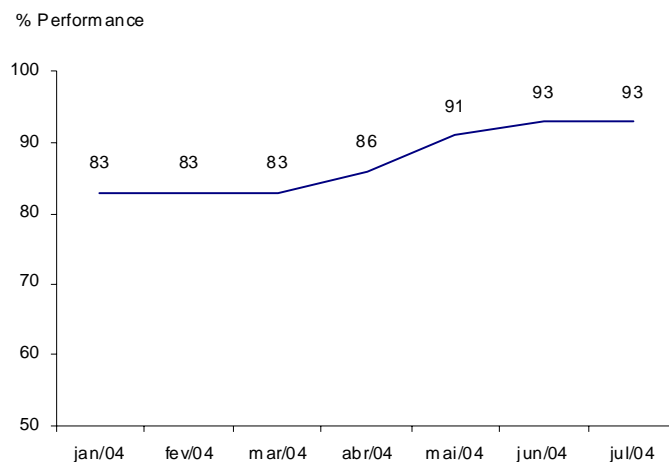


Figura 36: Evolução do índice de performance da operação gargalo da célula de Monobloco

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

As melhorias obtidas no índice de performance relativas às perdas por queda de velocidade estão vinculadas a correções e otimizações dos parâmetros de usinagem,

programas de usinagem e na velocidade dos movimentos dos sistemas de carga e descarga de peças e abertura e fechamento das portas dos equipamentos. Com estas ações, foi possível reduzir as perdas por queda de velocidade, reduzindo-se a diferença entre os tempos de ciclo reais com os tempos de ciclo de engenharia, eliminando essa diferença a partir do mês de maio, como apresentado na Figura 37. Nos meses seguintes, as perdas por queda de velocidade mantiveram-se em 0% devido a melhorias nos tempos de ciclo real, o que implicou a atualização dos tempos de ciclo de engenharia no sistema corporativo.

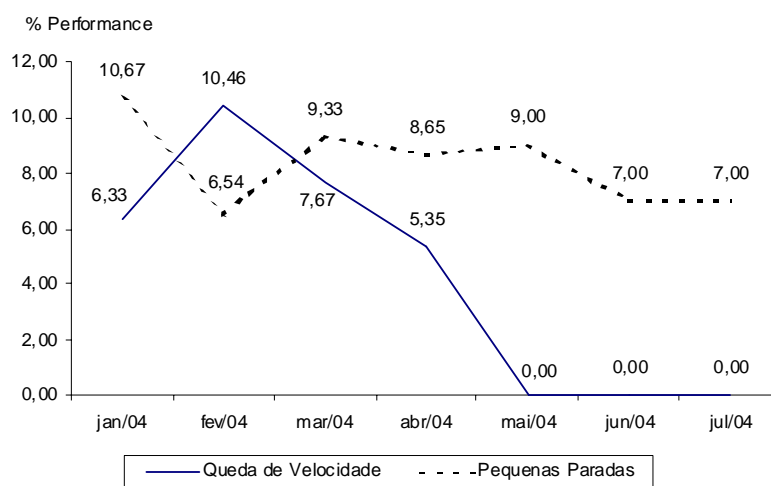


Figura 37: Evolução das perdas do índice de performance de performance
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

As perdas relacionadas às pequenas paradas não tiveram uma redução na mesma grandeza que a ocorrida com a queda de velocidade, atingindo uma redução de 3,67%, conforme apresentado na Figura 37. As principais ações de melhoria deste indicador foram devido à redução das pequenas paradas relacionadas a fuso desligado, peças presas na calha de entrada, peça presa na calha de saída, sensor da calha de saída desregulado, entre outros. A coleta destes dados é feita utilizando-se um formulário de registro de pequenas paradas, no qual são registrados somente o número de eventos e posteriormente cronometrado o tempo médio de duração de cada evento. A partir destes dados, calcula-se o percentual de perda de

cada um dos motivos de paradas, descontando-se do percentual de queda de velocidade.

4.2.8 Análise de Qualidade

O índice de qualidade tem como base as informações de sucata e retrabalho registradas em cartões específicos, os quais são lançados no sistema corporativo, após análise crítica do analista de qualidade da área.

Mesmo não havendo um ganho potencial representativo para a OEE, tendo em vista que a média do índice de qualidade no período é de 99,93 % (Figura 38), superior aos outros dois índices da OEE, as análises críticas dos principais problemas de qualidade são desenvolvidas sistematicamente pelos analistas de qualidade com as áreas de apoio de suas unidades de manufatura. Além dessas análises nas unidades de manufatura, são realizadas semanalmente reuniões entre todas as unidades de manufatura das plantas de Porto Alegre e Charqueadas envolvendo analistas de qualidade, gerentes de manufatura e representantes de áreas de apoio, como engenharia de produto e engenharia de processos, quando necessário. Essas reuniões são conduzidas pelo coordenador do departamento da garantia da qualidade da GDB, e nelas são discutidos os resultados dos índices de qualidade de cada unidade, tais como os números de sucata, retrabalho, reclamações de clientes, entre outros. Busca-se, nestas reuniões, identificar problemas sistêmicos de qualidade a partir da análise das unidades de manufatura, de modo a disparar ações de caráter preventivo para todas as unidades de manufatura.

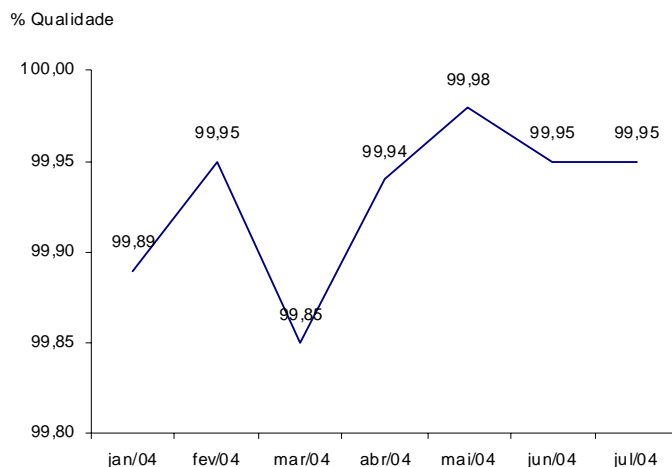


Figura 38: Evolução do índice de qualidade da operação gargalo da célula de Monobloco
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.3 Estudo de Caso 2 “Célula Tulipa”

4.3.1 Produto

O produto fabricado nessa célula de manufatura é a Ponteira Tulipa, uma das peças que compõem a Junta Deslizante, semelhante à Ponteira Monobloco, mas que pertence ao grupo de Juntas Deslizantes que utilizam componentes com roletes (FLESCHE, 2002).

4.3.2 Fluxo Produtivo

O fluxo produtivo da célula de manufatura da ponteira tulipa é composto por um total de quinze operações, conforme apresentado na Figura 39. As operações 30, 70, 80, 90 e 125, semelhante ao apresentado no estudo de caso 1, são processadas por máquinas operatrizes e monitoradas pelo indicador de OEE devido à sua complexidade.

As demais operações envolvem, entre outras atividades, a inspeção, como as operações 92, 220 e 230 executadas pelos operadores através de dispositivos e análises

visuais, enquanto a operação 93 é realizada por um sistema de teste automatizado. As operações 95, 102, 145 e 222 são executadas durante o transporte das peças ao longo das esteiras transportadoras por pequenos equipamentos como lavadoras, oleadeiras e politrizes, sem a necessidade da intervenção do operador. A operação 210, na qual as peças são magnetizadas, é considerada de baixa complexidade e operada por uma pessoa. Por fim, tem-se a operação 240, na qual as peças são armazenadas e posteriormente enviadas para a célula de montagem de juntas deslizantes. A célula de tulipa tem seu *layout* configurado na forma de “U”, apresenta um nível médio de automação e tem o envolvimento direto dos operadores em três operações com as atividades de carga e descarga de peças. O restante das operações ocorre apoiado por sistemas de calhas e esteiras transportadoras e um robô. O regime de trabalho dessa célula é de três turnos, cada um deles operado por quatro funcionários.

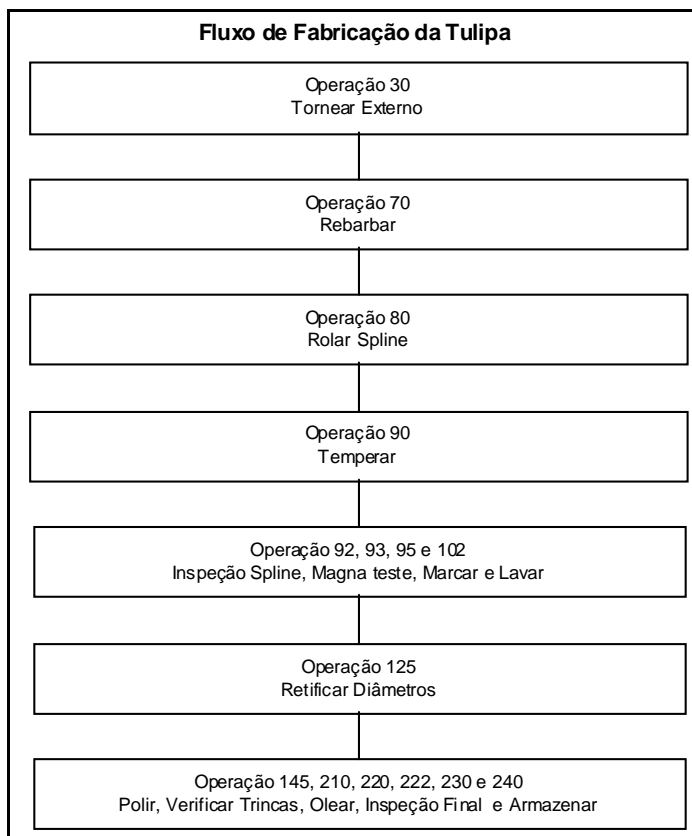


Figura 39: Fluxograma de fabricação da Ponteira Tulipa
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.3.3 Características dos Equipamentos

Semelhante ao abordado na seção 4.2.3, somente os equipamentos que estão sendo monitorados pelo indicador de OEE serão discutidos nessa seção. Esses equipamentos estão ligados às operações 30, 70, 80, 90 e 125, totalizando 7 equipamentos com idade média de 10 anos.

As operações 30 e 70 são processadas por tornos CNC e a operação 90, têmpera por indução, também tem comando CNC. Estas três operações utilizam equipamentos de fabricação brasileira. As operações 80, rolar *spline*, e 125, retificar diâmetro, têm os equipamentos controlados por CLP e seus principais movimentos executados por dispositivos hidráulicos. O equipamento da operação 80 é de fabricação norte-americana e o da operação 125, alemã.

4.3.4 Identificação do Gargalo

A determinação do gargalo da célula de tulipa segue os mesmos critérios descritos na seção 4.2.4, sendo a operação 125 identificada como o gargalo, por apresentar o maior tempo de ciclo médio ponderado no período de análise estudado.

Nos sete meses estudados, a célula de tulipa produziu uma média de dez diferentes tipos de produtos por mês, tendo como gargalo a operação 125, que é composta por um equipamento.

4.3.5 Análise do OEE do Gargalo

Analisando-se a Figura 40, referente ao gráfico de OEE da operação 125, percebe-se uma melhora de 16 pontos percentuais desse indicador, comparando o mês de janeiro de 2004 com o mês de julho desse mesmo ano, o que representa um aumento de 26% no período. Dos

três índices do cálculo de OEE, o que mais contribuiu para esse resultado foi o índice de disponibilidade, que será analisado em detalhe na seção seguinte, bem como os índices de performance e qualidade.

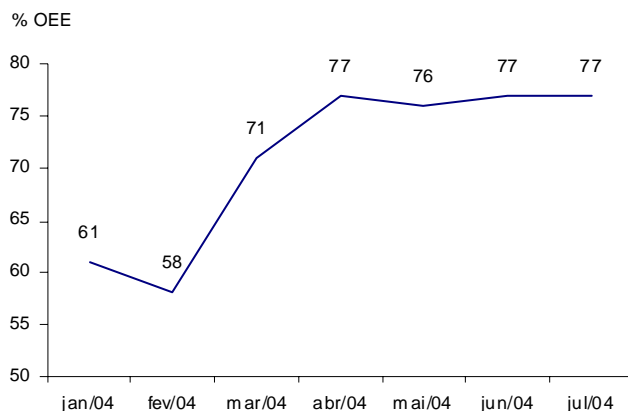


Figura 40: Evolução do indicador de OEE da operação gargalo da célula de Tulipa
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.3.6 Análise de Disponibilidade

O índice de disponibilidade, como pode ser visto no gráfico da Figura 41, apresentou uma melhora de onze pontos percentuais entre os meses de janeiro e julho de 2004.

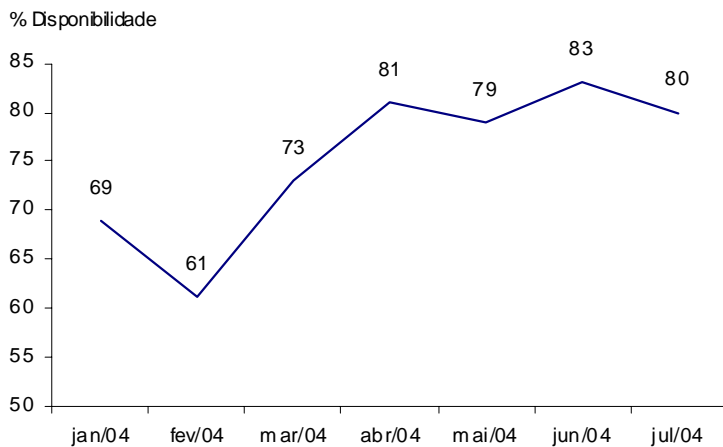


Figura 41: Evolução do índice de disponibilidade da operação gargalo da célula de Tulipa
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

O resultado obtido nesse índice deve-se ao estudo dos gráficos de pareto dos motivos de parada lançados nos diários de bordo, segundo a tipologia apresentada no capítulo três, na Figura 21. Dentre os principais motivos de parada registrados no período estudado, encontram-se os motivos 1 – Manutenção corretiva mecânica, 2 - Manutenção corretiva eletrônica, 4 - Manutenção preventiva, 6 – Regulagem de máquina, 7 - *Setup*, 11 - Reunião, 12 – TPM operador e 17 – Falta de peças. Os gráficos de pareto dos motivos de parada dos meses de janeiro a julho de 2004 encontram-se no Apêndice B.

As atividades de manutenção preventiva, motivo de parada 4, desenvolvidas a partir da reestruturação das áreas de manutenção, levaram redução das paradas por manutenção corretiva mecânica e eletrônica, motivos de parada 1 e 2. As Figuras 42, 43 e 44 apresentam os gráficos dos motivos de parada 1, 2 e 4.

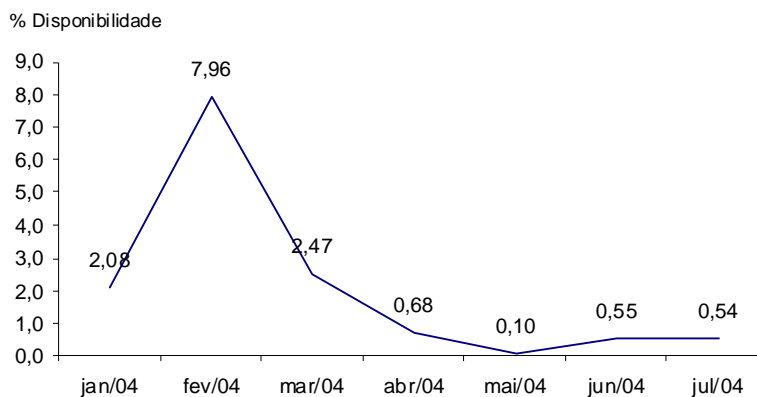


Figura 42: Parada pelo motivo de manutenção corretiva mecânica

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

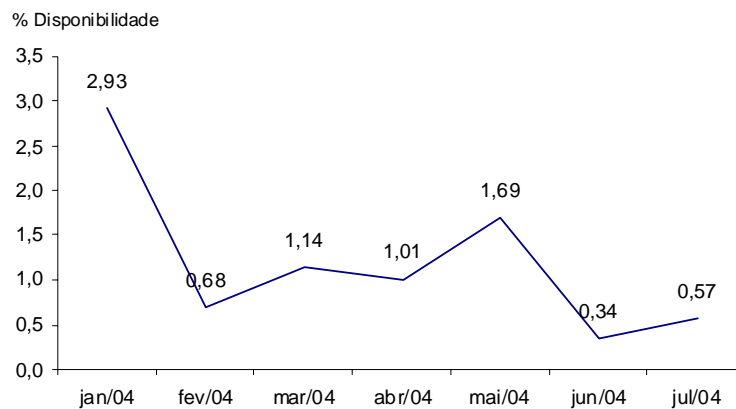


Figura 43: Parada pelo motivo de manutenção corretiva eletrônica
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

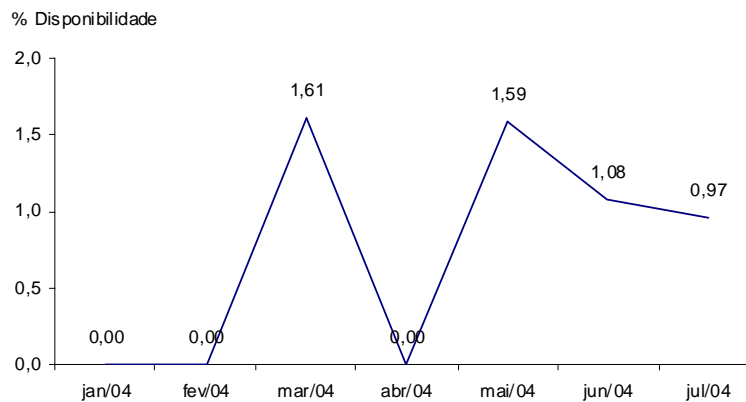


Figura 44: Parada pelo motivo de manutenção preventiva
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

A redução dos percentuais de paradas por manutenções corretivas mecânica e eletrônica, obtidas através das atividades de manutenção preventiva, garantiu maior estabilidade ao equipamento, reduzindo, também, o percentual de parada do motivo 6 – regulagem, como apresentado na Figura 45.

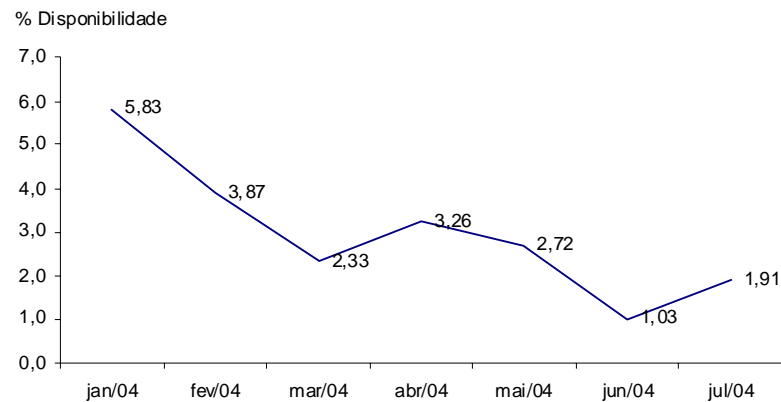


Figura 45: Parada pelo motivo de regulagem de máquina
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

O motivo de parada de número 17 – Falta de peças, representa o não fornecimento contínuo de peças por parte das operações anteriores. De posse desses dados, a equipe de análise de OEE desta unidade de manufatura analisou o indicador de OEE dos equipamentos que compõem as operações anteriores, gerando planos de ações quando aplicáveis. A Figura 46 apresenta o gráfico do motivo de para 17 – Falta de peças, o qual apresentou redução no percentual de paradas, bem como estabilização nos últimos quatro meses. Esse resultado também é percebido analisando-se a Figura 47, que apresenta o gráfico de OEE com e sem os motivos de parada por gestão.

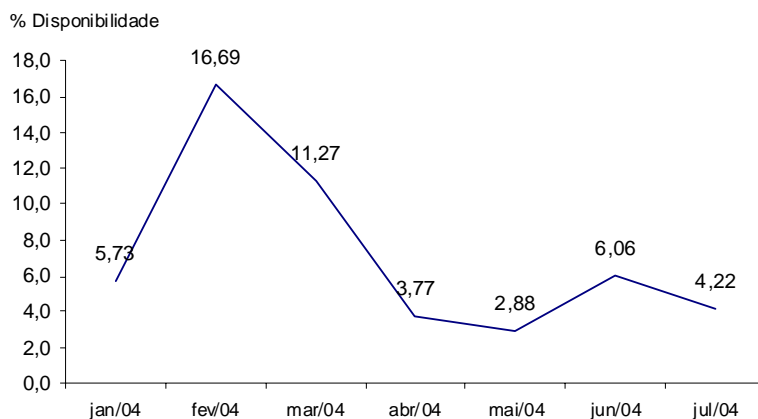


Figura 46: Parada pelo motivo de Falta de peças
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

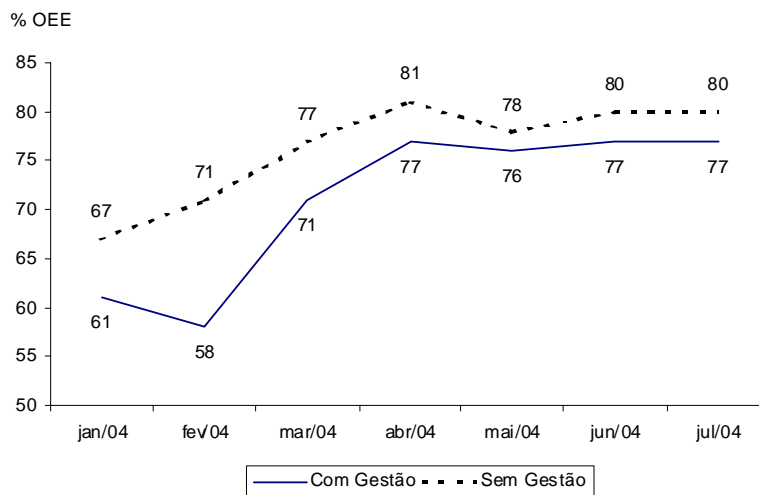


Figura 47: Comparativo da OEE de um equipamento com e sem as perdas por gestão
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

Diferentemente dos motivos de parada analisados anteriormente, que apresentaram redução em seus percentuais, o motivo de parada de número 7 – *Setup* apresentou aumento percentual, conforme apresenta a Figura 48. Este aumento ocorreu devido ao crescimento do tempo médio de *setup* nesse equipamento, já que não houve aumento na frequência de *setups*, como mostra a Figura 49.

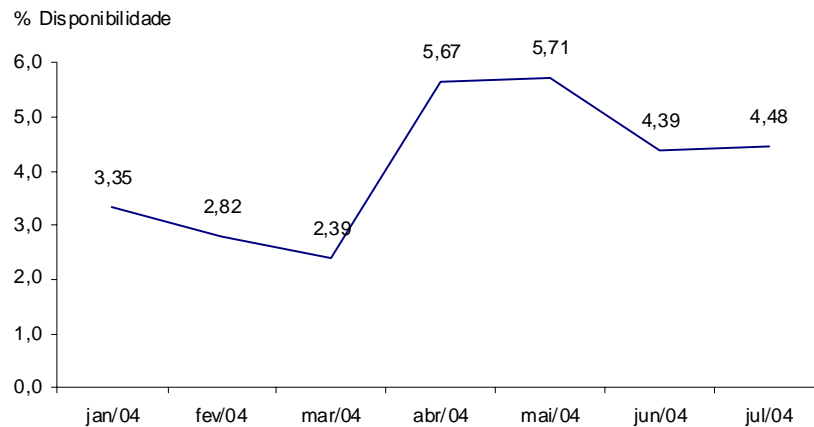


Figura 48: Parada pelo motivo de *setup*
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

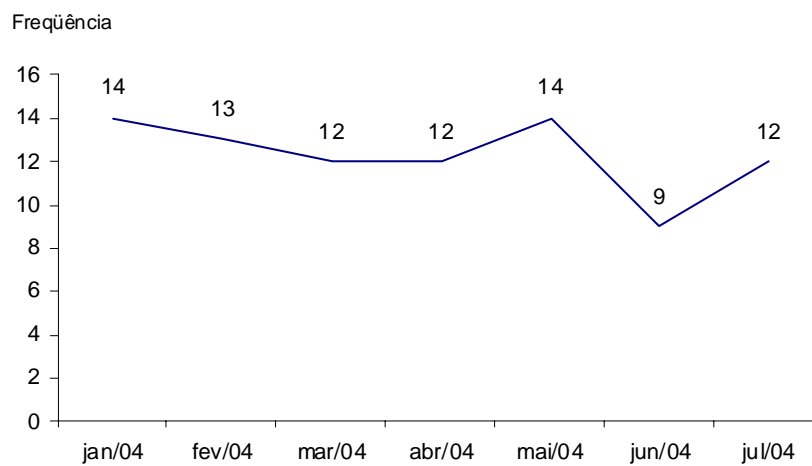


Figura 49: Frequência de *setup*
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

Os outros dois motivos de parada citados nessa seção, 11 – Reunião e 12 – TPM operador, apresentam valores percentuais de acordo com o determinado como aceitável pela empresa, por se tratar de atividades necessárias para a melhoria e manutenção dos resultados.

4.3.7 Análise de Performance

O índice de performance na operação gargalo desta célula apresentou melhoria no período de análise de 6%, mantendo-se estável no resto do período no valor médio de 94,7%, conforme apresentado na Figura 50. As ações de melhorias ocorridas no mês de janeiro estiveram apoiadas na redução e otimização dos tempos de ciclo.

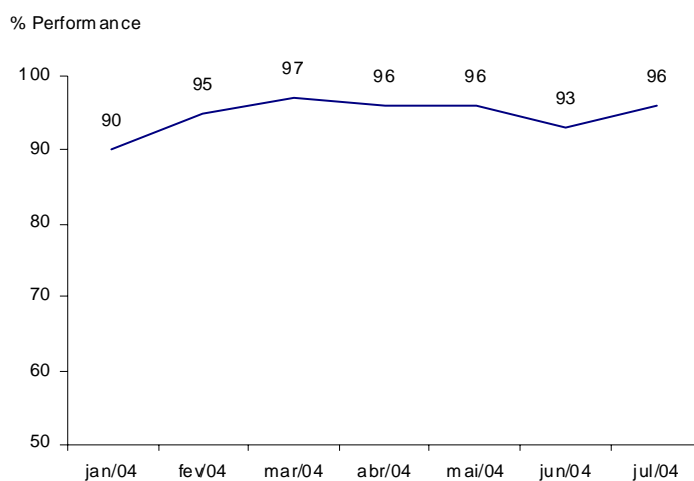


Figura 50: Evolução do índice de performance da operação gargalo da célula de Tulipa
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.3.8 Análise de Qualidade

A análise do índice de qualidade da operação gargalo da célula de tulipa segue a mesma abordagem aplicada na célula de monobloco, não sendo este índice representativo na melhora do indicador de OEE. Essa célula, como as demais da GDB, segue, de maneira sistemática as atividades relacionadas à qualidade descritas na seção 4.2.8. A média do índice de qualidade no período do estudo é de 99,60 % (Figura 51).

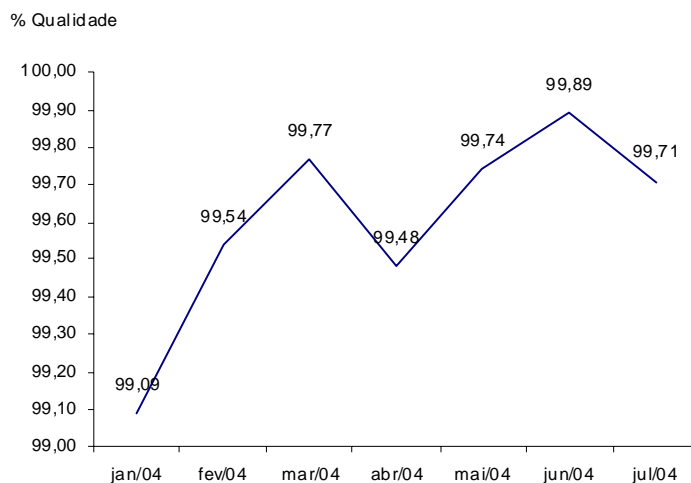


Figura 51: Evolução do índice de qualidade da operação gargalo da célula de Tulipa

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

4.4 Percepção das Pessoas Envolvidas com o Indicador OEE

Com o objetivo de analisar a implementação do indicador de OEE, junto às gerências e chefias, bem como propor ajustes no processo, foi desenvolvida uma pesquisa de percepção, conforme apresentado na tabela 5.

Esta pesquisa de percepção envolveu o diretor e gerente industrial, gerentes de manufatura, gerente de manutenção, chefias de produção e chefias de manutenção. Também fazem parte desta pesquisa representantes de áreas de apoio, como gerente de engenharia de processos, gerente de engenharia de planejamento, analista de produto, engenheiro de segurança, chefia de PCP, gerente e chefia de qualidade e gerente de melhorias, totalizando 33 pessoas.

Tabela 5: Resultados da pesquisa de percepção referente à implantação do indicador OEE

Opções	Alternativas				
	Discordo	Acho que não	Não sei	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
A implantação do indicador de OEE auxilia as lideranças na administração dos recursos de suas áreas de negócios no Curto prazo.				9	20
A implantação do indicador de OEE auxilia as lideranças no estabelecimento de metas da produção no médio prazo .				4	25
A implantação do indicador de OEE auxilia na tomada de decisão quanto a priorização de investimentos de Longo prazo.			1	12	16
A implantação do indicador de OEE melhorou os processos produtivos por permitir uma gestão mais técnica apoiada na acuracidade dos dados.				5	24
A implantação do indicador de OEE permite que todas as áreas da empresa se envolvam na busca da melhoria do indicador de OEE (PCP, Processo, Vendas, Expedição, entre outras áreas).				18	11
A implantação do indicador de OEE auxiliou no crescimento das pessoas envolvidas, ou seja, promoveu aprendizado referente a gestão do posto de trabalho.			1	3	25

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando-se a tabela 5, observa-se que a percepção das pessoas envolvidas na pesquisa foi positiva em relação a todas as questões. Dentre as seis questões respondidas na pesquisa, as questões 2, 4 e 6, representando respectivamente o auxílio da OEE no estabelecimento de metas de produção no médio prazo pela liderança, a melhoria dos processos produtivos a partir de uma gestão técnica apoiada pela acuracidade dos dado e pelo aprendizado das pessoas envolvidas, referente à gestão do posto de trabalho, apresentaram pontuação maior que 80% na alternativa “concordo totalmente”. Outra questão que apresentou maior pontuação na alternativa “concordo totalmente” foi a de número 1, referente ao auxílio do indicador de OEE às lideranças na administração dos recursos de suas áreas de negócio no curto prazo. A questão 3, que aborda o auxílio da OEE na tomada de decisões na priorização de investimentos de longo prazo, recebeu pontuação maior na alternativa “concordo totalmente”, porém com um percentual próximo da alternativa “concordo parcialmente”, 55% e 41%, respectivamente.

Diferentemente das outras questões que apresentaram a alternativa “concordo totalmente” com maior pontuação, a questão 5, relativa ao envolvimento de todas as áreas da empresa na busca da melhoria do indicador de OEE, apresentou percentual de 62% para a alternativa “concordo parcialmente”. Essa escolha se deve a possibilidade de maior envolvimento das áreas de apoio no dia-a-dia nas análises de OEE baseado nas perdas por gestão não programadas, bem como a dificuldade por parte destas áreas de entenderem o impacto de suas decisões no resultado de OEE.

Abaixo são apresentados alguns depoimentos do grupo de funcionários que participaram da pesquisa de percepção relativa à implementação do indicador de OEE.

O indicador de OEE fez com que se analisasse tecnicamente cada linha ou célula de manufatura, de forma que, com isto, ficou mais claro para todos os níveis da manufatura onde devem ser direcionados os esforços (Gerente de Manufatura).

O indicador OEE foi implementado a no mínimo 3 anos atrás, porém realmente iniciamos a perceber o retorno à um ano, quando todas as ações individuais foram alinhadas e priorizadas conforme a OEE. Isto provou que este indicador serve também como excelente ferramenta para priorização de ações dentro do processo fabril (Gerente de planejamento).

A OEE “nasceu” na manufatura e após o primeiro ano de implementação, com certeza terá sua maturação. Porém, áreas de apoio levam mais tempo para internalizar os princípios da OEE e, portanto, levam mais tempo para interagir para a melhoria do indicador. A OEE está extremamente focada para a manufatura, auxiliando na melhoria da produtividade. Vejo que a GKN surpreendeu com sua evolução em produtividade. Sugiro, porém, uma avaliação do impacto da aplicação de uma metodologia, com foco em produtividade, sobre os resultados de longo prazo sobre a qualidade e segurança. Talvez, uma abordagem em paralelo sobre estes dois itens seja necessária para uma implementação futura em outra empresa. Utilizar os dados de 1 ano de trabalho, para avaliar não somente produtividade, mas também custo, segurança e qualidade (Gerente de Qualidade).

Trata-se de um indicador poderoso para o auxílio das lideranças na gestão da produção, porém, deve ser usado de forma cuidadosa, para não esquecer outro fator importante para a produção que é a qualidade, a qual sempre deve ser preservada (Gerente de Engenharia de Processos).

O indicador de OEE é uma excelente ferramenta para visualizar o fluxo de produção, porém, é necessária uma análise crítica dos dados, não sendo de fácil compreensão de toda força de trabalho. Contudo, após treinamento e uso diário desta ferramenta, as lideranças envolvidas possuem uma ferramenta que mensura as ações,

gerando uma priorização adequada de aplicação de recursos. Evidenciamos através de reuniões técnicas semanais e mensais que com este método de gestão passamos a atuar tecnicamente na solução de problemas, pois há a integração de todas as áreas da empresa (manutenção, produção, PCP, controladoria, entre outras) direcionada sobre o mesmo indicador operacional, a fim de gerar o aumento real de produtividade (Chefe de Manufatura).

O indicador de OEE proporciona aos envolvidos (operadores e lideranças) um conhecimento real das condições e capacidade produtiva dos equipamentos. Consegue-se visualizar com clareza a situação atual e que ações são necessárias para alcançar as metas propostas (Chefe de Manufatura).

A implementação da OEE melhorou o foco de atuação da manutenção e trouxe dados para podermos tomar decisões mais acertadas. Os planos de ação desenvolvidos a partir da análise da OEE geraram resultados ótimos nos gargalos. Entretanto, a preocupação muito grande com o número da OEE aumentou a pressão sobre as pessoas (Chefe de Manutenção).

A implantação do indicador de OEE permitiu o aprendizado (com base em dados e fatos) e o encaminhamento de ações priorizando os pontos realmente críticos e gerando melhorias significativas nos resultados da manufatura. Como aspecto negativo, destaco o conflito com outros indicadores, onde a manufatura em um primeiro momento priorizava produtos com melhor resultado de OEE, deixando de priorizar as características dos clientes (Chefe de PCP).

A possibilidade do uso da OEE dentro da companhia é maior que o atual. Para haver este aprofundamento do uso, é necessário que mais lideranças dominem a ferramenta, pois o domínio ainda é de poucos e a implementação foi agilizada pela pressão externa. As áreas de PCP, vendas, *layout* e processo carecem de um maior entendimento para explorarem todas as possibilidades de uso (Analista de Produto).

Acredito que a análise do OEE ainda é restrita aos envolvidos diretamente com a manufatura e manutenção. Talvez pudéssemos ter mais resultados ainda estendendo aos demais setores a participação nas análises (Engenheiro de Segurança).

Observando o conjunto de relatos, conclui-se que a percepção referente à implantação do indicador OEE foi positiva. Contudo, muitos respondentes indicaram que há espaço para melhorias e que o indicador poderia ser explorado em maior profundidade, permitindo ganhos adicionais à empresa. A questão da qualidade também deve ser tratada como um ponto a ser melhorado, pois, segundo os respondentes, não tem recebido importância necessária nas análises do índice de qualidade, por apresentar valores próximos de 100%, levando as equipes a procurar oportunidades de ganho de OEE mais representativo nos índices de disponibilidade e performance.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

O presente trabalho abordou a utilização do indicador de eficiência global de equipamentos como forma de gestão e melhoria contínua de equipamentos. Ele teve como objetivo principal estudar e desenvolver o indicador de OEE em equipamentos aplicados à indústria automobilística, descrevendo os índices que compõem o cálculo deste indicador e considerando todas as perdas que envolvem diretamente os equipamentos e as perdas por gestão, também causadoras de paradas nos equipamentos. Também fez parte do objetivo deste trabalho descrever e analisar os resultados obtidos na implementação do indicador de OEE na empresa GKN do Brasil, a partir da análise de dois equipamentos gargalos de uma unidade de negócios.

Para atender aos objetivos propostos, foi efetuada uma revisão bibliográfica apresentando inicialmente uma revisão sobre a metodologia TPM – *Total Productive Maintenance*, sua origem, conceitos e objetivos, bem como sua evolução, desde seu reconhecimento público em 1971, até os dias de hoje. Pode-se observar, por este estudo inicial, que o indicador de OEE já era tratado como uma diretriz estratégica da metodologia TPM desde sua origem, buscando maximizar a eficiência dos equipamentos. Com a evolução da metodologia ao longo dos anos, as perdas passaram a ser vistas de maneira mais ampla,

como apresentado por Shirose (2000) que as classificou em dezesseis perdas. Essas dezesseis perdas estão distribuídas em quatro grupos: I e II – Oito perdas relacionadas à eficiência dos equipamentos, III – Cinco perdas relacionadas à eficiência do trabalho humano e IV – Três perdas relacionadas à eficiência dos recursos de produção. Observa-se que, mesmo com a identificação de dezesseis perdas, o indicador de OEE permanece considerando somente as perdas decorrentes de quebras e falhas geradas pelos equipamentos.

Dando continuidade à revisão bibliográfica, foram apresentados dois métodos de cálculo de eficiência global chamado de CUBES – *Capacity Utilization of Bottleneck Equipment System* e TEEP – *Total Effectiveness Performance*. Ambos os métodos utilizam estrutura de cálculo semelhante à apresentada pelo indicador de OEE da TPM, porém apresentam diferenças quanto às perdas, por considerarem, no cálculo, as perdas decorrentes de problemas relacionados à gestão dos equipamentos.

Por fim, são apresentados os métodos de coleta manual e automático de dados, nos quais se observa problema na acuracidade dos dados coletados, o que pode levar a tomadas de decisão erradas e ao não cumprimento dos objetivos planejados. A necessidade de apoio por parte da alta direção da empresa, buscando o envolvimento e comprometimento de todos os funcionários na análise das perdas, tem um papel fundamental na melhoria da eficiência global dos equipamentos. O envolvimento de todos os funcionários associado às atividades de pequenos grupos também faz parte das diretrizes da TPM.

A implementação do indicador de OEE na GKN do Brasil ocorreu em 1999, a partir de visitas técnicas em fábricas do grupo na Alemanha, em 1998, que motivaram a atualização de alguns conceitos na metodologia TPM utilizada nas fábricas do Brasil. Tendo como base o método de cálculo desenvolvido por Nakajima (1993), foram definidos, junto às áreas de produção e de tecnologia da informação, alguns formulários para coletar dados no chão-de-fábrica. Com estes dados inseridos no sistema corporativo, foi possível obter, a partir de

relatórios, o indicador de OEE. Foi necessário definir uma tipologia de paradas que melhor representasse as interrupções mais comuns dos equipamentos, identificando, também, volumes de sucata e retrabalhos. Com a adoção da OEE como o indicador operacional da manufatura por parte da GKN *Driveline*, em 2003, para todas as plantas do grupo, a discussão dos resultados da OEE passaram a fazer parte de todas as reuniões da manufatura, tornando-o o indicador de gestão e melhoria contínua dos equipamentos.

O estudo de caso desenvolvido na GKN do Brasil envolveu o estudo do indicador de OEE aplicado em dois equipamentos gargalos, em uma unidade de negócios. A análise dos resultados foi feita a partir do desdobramento dos índices de disponibilidade, performance e qualidade, bem como através de uma pesquisa de percepção referente à implantação do indicador de OEE.

O estudo de caso demonstrou que os dois equipamentos analisados apresentaram melhoria nos seus resultados de OEE. O equipamento analisado no estudo de caso 1, referente à operação 150 (retificar diâmetro e face), gargalo da célula de monobloco, apresentou um crescimento de 9% no indicador de OEE, no período de janeiro a julho de 2004, conforme apresentado na Figura 28. O melhor resultado obtido nesta operação foi de 15%, ocorrido no mês de junho, quando atingiu uma eficiência de 79%. Os resultados alcançados neste equipamento deveram-se à melhoria do índice de performance, obtida a partir de ações ligadas às perdas por queda de velocidade. No estudo de caso 2, aplicado no equipamento responsável pela operação 125 (retificar diâmetros), a melhoria obtida resultou em um aumento de 16% no indicador de OEE, obtida devido à melhoria do índice de disponibilidade. Os motivos de paradas referentes à manutenção corretiva mecânica, manutenção corretiva eletrônica, regulagem de máquina e falta de peças foram os que mais contribuíram na melhoria do índice de disponibilidade.

Outros resultados obtidos nos estudos de caso desenvolvidos neste trabalho; também

merecem destaque. Estes relacionados à importância das perdas ligadas à gestão, que possibilitaram o aumento real de eficiência, e as análises sistêmicas do indicador de OEE desenvolvidas por equipes multifuncionais nas reuniões semanais de OEE, que obtiveram não somente o aumento do percentual de OEE, mas também a difusão da cultura pela busca da causa raiz dos problemas na empresa.

O indicador de OEE, cuja utilização iniciou nos anos 70 em empresas do setor automobilístico, atualmente está sendo aplicado em empresas de diversos ramos de atuação. Ele vem sendo empregado como um importante indicador operacional, independentemente da implantação (ou não) da metodologia TPM nas respectivas empresas.

5.2 Sugestões para Pesquisas Futuras

Como sugestão para desdobramentos futuros desta dissertação, salienta-se:

- i. O desenvolvimento de estudos de casos utilizando indicadores logísticos como, por exemplo, o índice de atendimento ao cliente em conjunto com o indicador de OEE. Uma análise deste tipo poderia auxiliar na obtenção de resultados para as empresas quanto ao atendimento das necessidades dos clientes, tendo em vista que a melhoria de OEE, atualmente, não está associada diretamente à melhora no índice de atendimento ao cliente;
- ii. Outro estudo relevante contempla a possibilidade de investigação e melhoria no método de coleta automática de dados, o qual não foi abordado em profundidade neste trabalho. A coleta automática possibilitará vantagens quanto à acuracidade dos dados coletados, quanto as possibilidades de obtenção de resultados em tempo real, por não necessitar de mão-de-obra para digitação dos dados no sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. **MRP II e Manufatura Enxuta: Vantagens, Limitações e Integração.** Encontro Nacional de Engenharia De Produção, XXI. Salvador: 2001. CDROM.

ANTUNES, J.; KLIPPEL, M. **Uma Abordagem Metodológica para o Gerenciamento das Restrições dos Sistemas Produtivos: A Gestão Sistêmica, Unificada/Integrada e Voltada aos Resultados do Posto de Trabalho.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXI. Salvador: 2001. CD-ROM.

ASQC. American Society for Quality Control. **Glossary and tables for statistical quality control.** 2 ed. Milwaukee Wisconsin, 1983.

BAMBER, C. J.; CASTKA, P.; SHARP, J. M.; MOTARA, Y. Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). **Journal of Quality in Maintenance Engineering.** v. 9, n. 3, p. 223-238, 2003.

BELTRANO FILHO, G. B. **Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 1996.

CHECOLI, P. F.; MONTEIRO, A.V. **A Teoria das Restrições como Recurso para a Excelência da Gestão da Manufatura.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XX. São Paulo, 2000. CD-ROM.

CHINONE, K. **TPM – Total Productive Maintenance.** 10º Curso Internacional de Instrutores TPM JIPM & IMC. São Paulo, 2001.

COX III, J. F.; SPENSER, M. S. **APICS Dictionary,** Falls Church VA: American Production and Inventory Control Society, 8. ed., p. 15, 1995.

COX III, J. F.; SPENSER, M. S. **Manual da Teoria das Restrições**. 1.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DAL, B.; TUGWELL, P.; GREATBANKS, R. "Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement – A practical analysis". **International Journal of Operations & Production Management**. v. 20, n. 12, p. 1488-1502, 2000.

DIAS, S. L. V. **Avaliação do Programa TPM em uma indústria Metal-Mecânica do Rio Grande do Sul** (Dissertação de Mestrado, UFRGS). Porto Alegre, 1997.

FLESCH, G. **Aplicação de Projeto de Experimentos como Suporte no Projeto e Melhorias de Produtos no Setor de Autopeças** (Dissertação de Mestrado, UFRGS). Porto Alegre, 2002.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: Mais do que simplesmente Just-in-Time – Automação e Zero Defeitos**. Caxias do Sul: EDUCS, 1996.

GOLDRATT, E. **A Meta**. São Paulo: Educator, 1993.

GOLDRATT, E. M. **What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented?** Massachusetts: North River Press, 1990.

HANSEN, R. C. **Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production / Maintenance Tool for Increased Profits**. New York: Industrial Press, 2002.

IRELAND, F., DALE, B. G. A Study of Total Productive Maintenance Implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. v. 7 n. 3, p. 183-191, 2001.

JIPM - JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. **Previous Award Winners**. Disponível em: <<http://www.jipm.or.jp>>. Acesso em: 30 ago. 2004.

JEONG, K.; PHILLIPS, D. T. Operational Efficiency and Effectiveness Measurement. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 21, n. 11, p. 1404-1416, 2001.

JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – The role of OEE. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n.1, p. 55-78, 1999.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEACHMAN, R. C. **A Closed-loop Measurement of Equipment Efficiency and Equipment Capacity**, Proceedings of IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, p. 115-16, 1995.

LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.

MAGARD, B. N. **TPM That Works – The Theory and Design of Total Productive**. inc. Pittsburgh – Pennsylvania: TPM Press, 1992.

MIYAKE, D. I. **The JIT, TQC and TPM Paradigm: Contributions for Planning Integrated Applications in Manufacturing Firms**. (Tese de Doutorado, Tokyo Institute of Technology). Japan, 1998.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM, Productivity Press**. Cambridge: MA, 1993.

_____. **TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance, Productivity Press**. Portland: OR, 1989.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**, Bookman, Porto Alegre, RS, 1997.

PALMEIRA, J. N., TENÓRIO, F. G. **Flexibilização Organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total**. Rio de Janeiro: FGV, 2002.

RIIS, J. O.; LUXHØJ, J. T.; THORSTEINSSON, U. A Situation Maintenance Model. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. v. 14, n. 4, p. 349-366, 1997.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas: Nove lições ocultas sobre a simplicidade**. 4 ed. São Paulo: Pioneira, 1993.

SEIDEL, A. **No sentido da Implementação de um Programa de Troca Rápida de Ferramenta (TRF): Um estudo de caso de uma empresa fornecedora de componentes para montadoras da Indústria Automobilística Nacional** (Dissertação de Mestrado, UNISINOS) São Leopoldo, 2003.

SENA, R. M. **Manutenção Produtiva Total na Adaptação Estratégica: Um Estudo na Eletrônica de 1996 a 2001.** (Dissertação de Mestrado, UFSC) Florianópolis, 2002.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

_____. **Sistemas de Produção com Estoque Zero: O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHIROSE, K. **TPM for Workshop Leaders, Productivity Press.** Portland: OR, 1992.

_____. **TPM New Implementation Program in Fabrication and Assembly Industries.** Japan Institute of Plant Maintenance. Tokyo, 2000.

SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS. **Desempenho do Setor de Autopeças.** São Paulo: Ipsis, 2004.

SLACK, N. **Vantagens competitivas em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

SUEHIRO, K. **Eliminating Minor Stoppages on Automated Lines,** Portland: Productivity Press, OR, 1992.

SUZUKI, T. **TPM in Process Industries.** Portland: Productivity Press, 1994.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total.** São Paulo: IMAM SP, 1993.

TOYOTA CORPORATE INFORMATE. **History of Toyota.** Disponível em:
<<http://www.toyota.co.jp>>. Acesso em: 15 jun. 2004.

WOLMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo.** Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YSHIKAWA, K. **Guide to Quality Control.** Tokyo: Asian Productivity Organization, 1982.

ANEXO A – GRÁFICOS DE EFICIÊNCIA GLOBAL

APÊNDICE A – DADOS DO ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE DO GARGALO DA CÉLULA DE MONOBLOCO

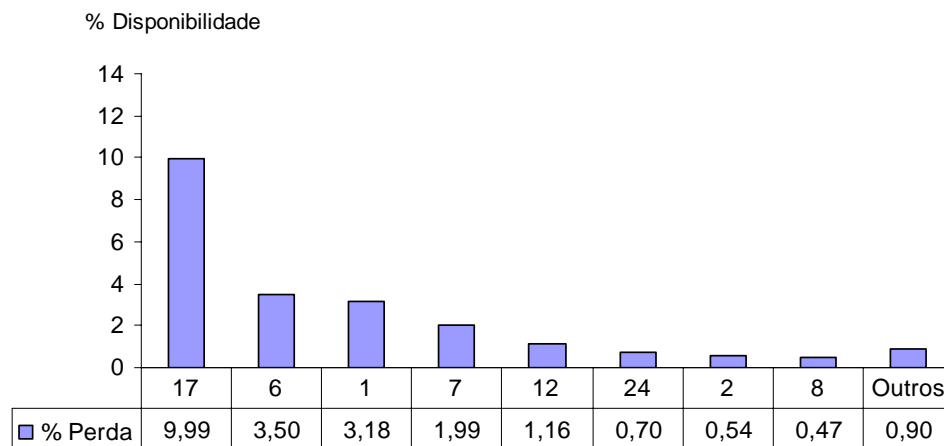


Figura 54: Perdas por disponibilidade do mês de janeiro 2004
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

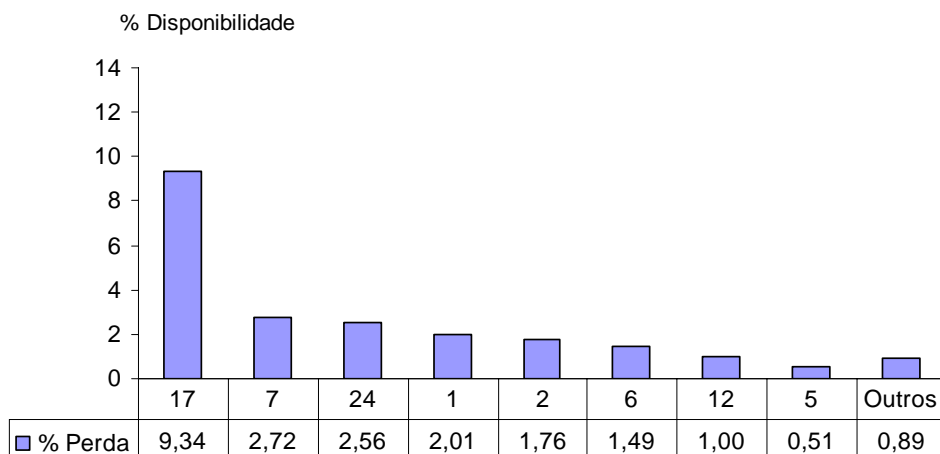


Figura 55: Perdas por disponibilidade do mês de fevereiro 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

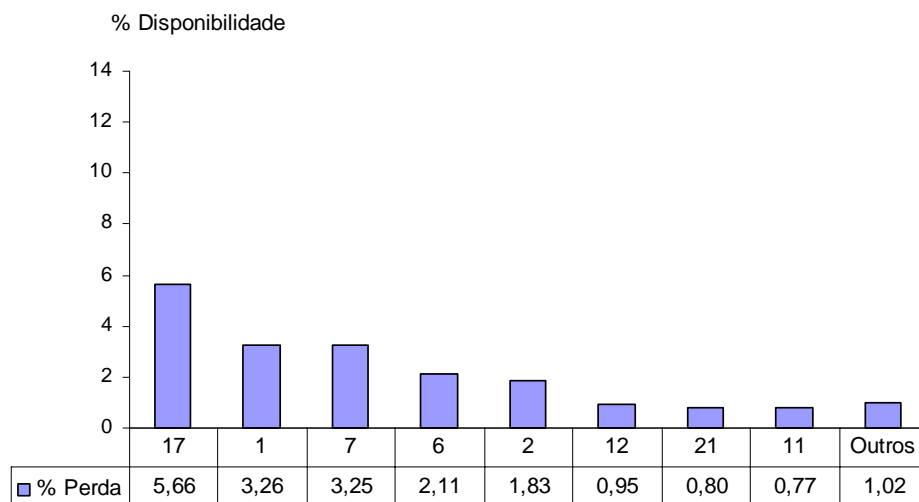


Figura 56: Perdas por disponibilidade do mês de março 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

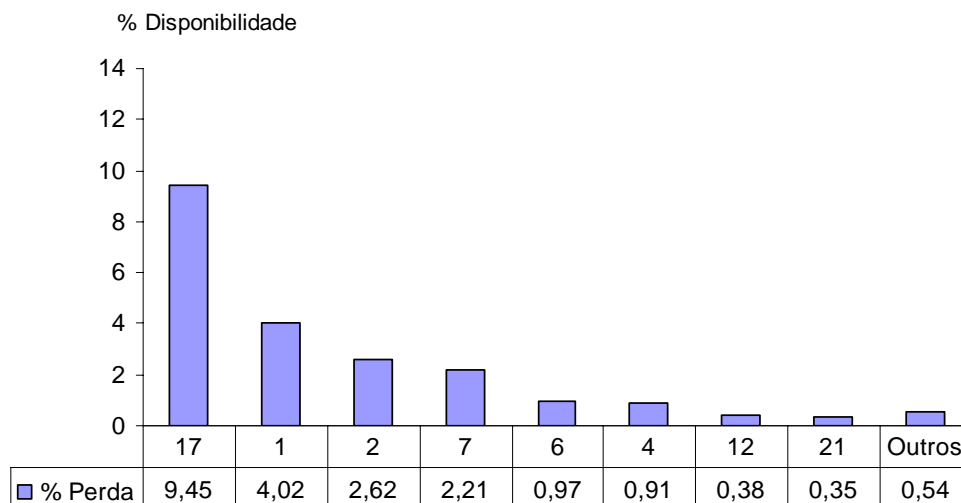


Figura 57: Perdas por disponibilidade do mês de abril 2004
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

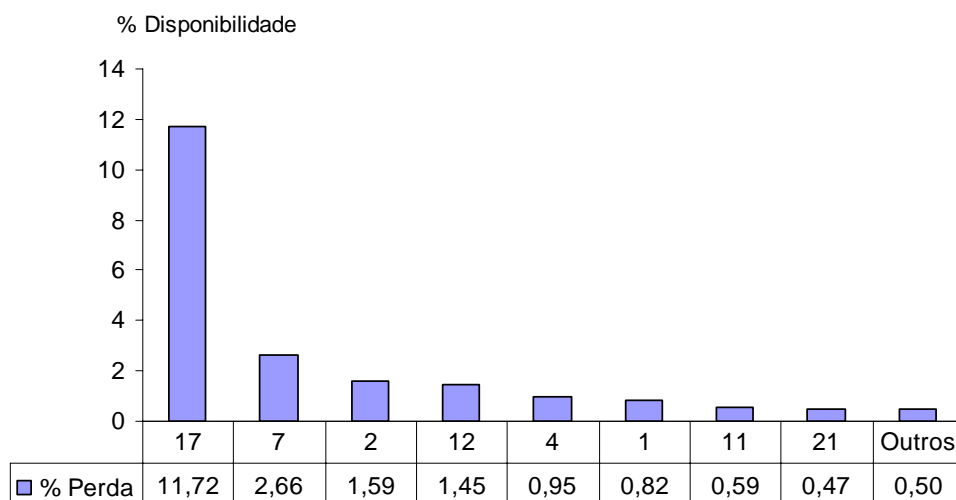


Figura 58: Perdas por disponibilidade do mês de maio 2004
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

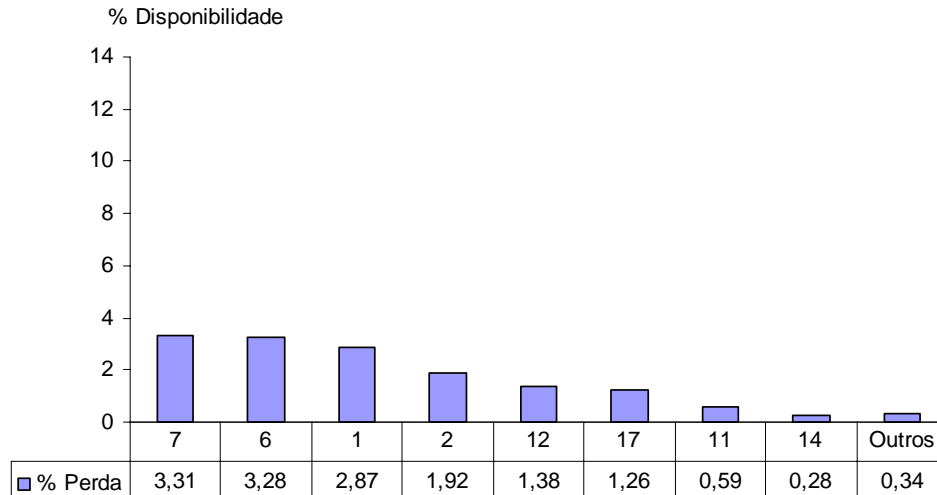


Figura 59: Perdas por disponibilidade do mês de junho 2004
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

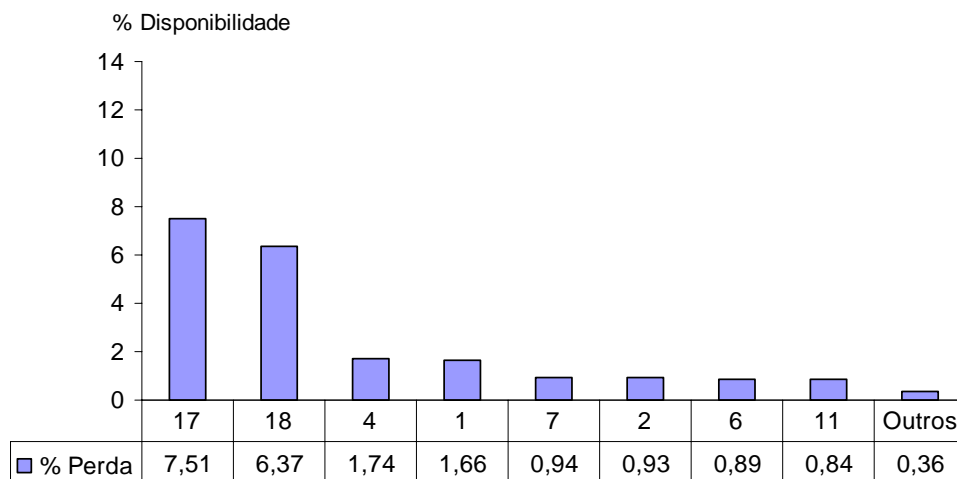


Figura 60: Perdas por disponibilidade do mês de julho 2004
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

APÊNDICE B – DADOS DO ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE DO GARGALO DA CÉLULA DE TULIPA

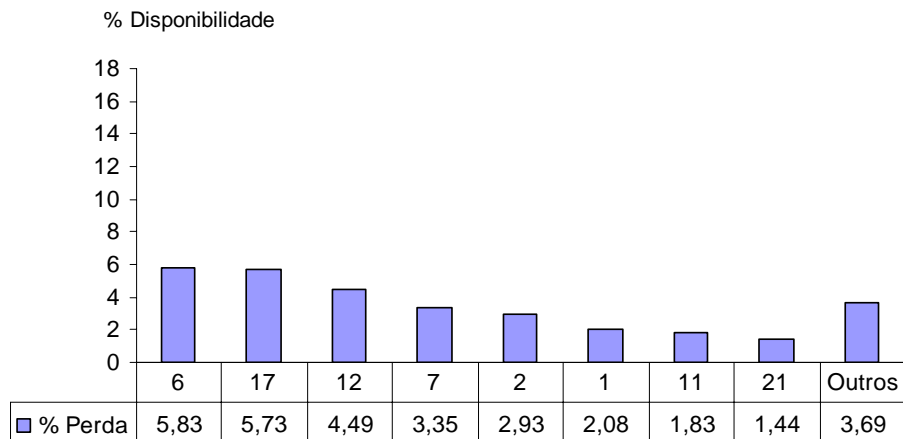


Figura 61: Perdas por disponibilidade do mês de janeiro 2004
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

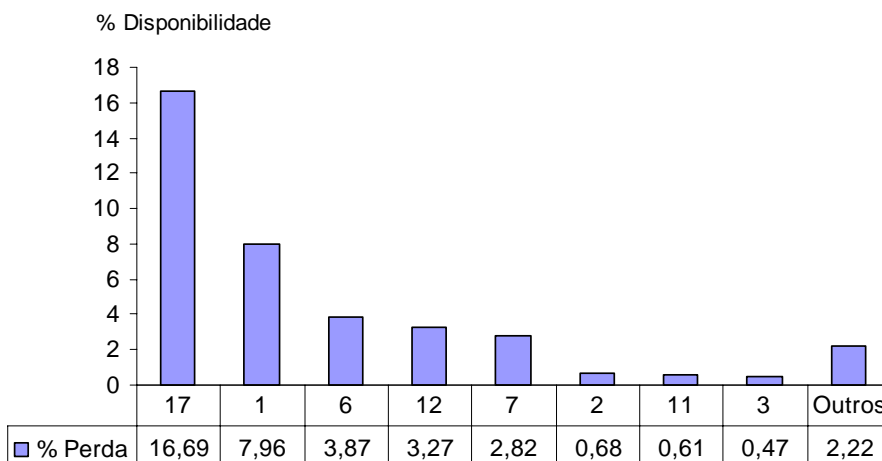


Figura 62: Perdas por disponibilidade do mês de fevereiro 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

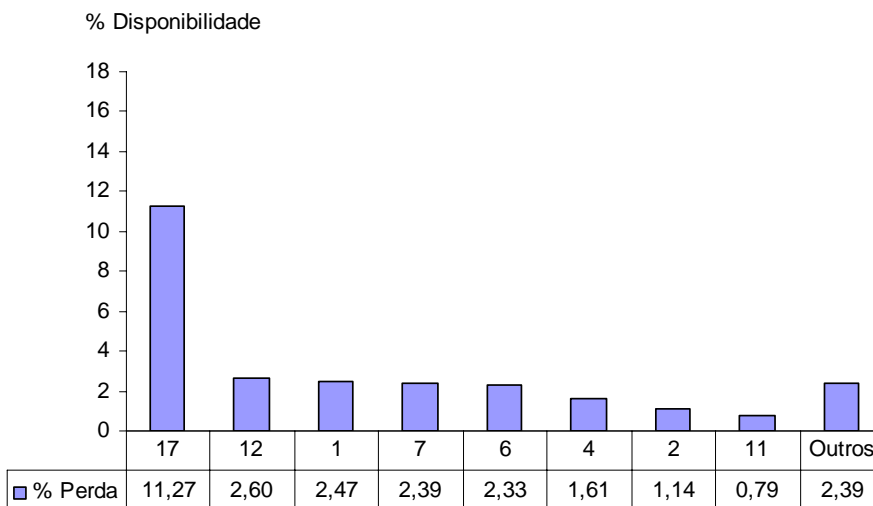


Figura 63: Perdas por disponibilidade do mês de março 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

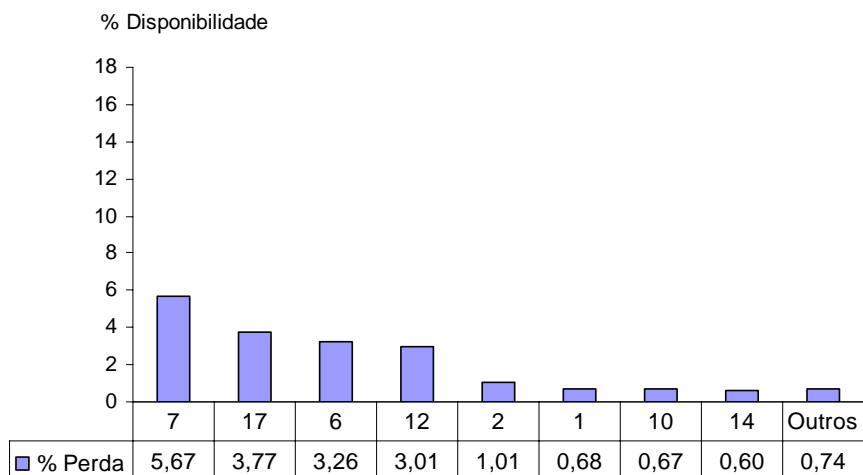


Figura 64: Perdas por disponibilidade do mês de abril 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

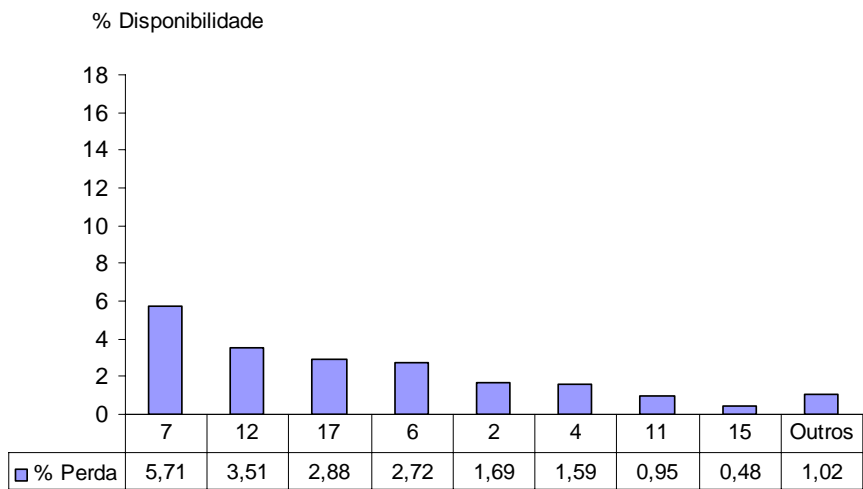


Figura 65: Perdas por disponibilidade do mês de maio 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

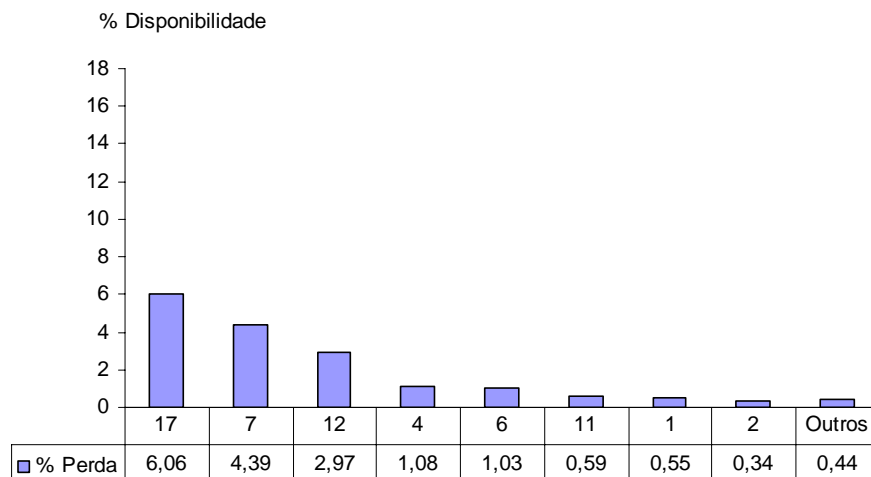


Figura 66: Perdas por disponibilidade do mês de junho 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa

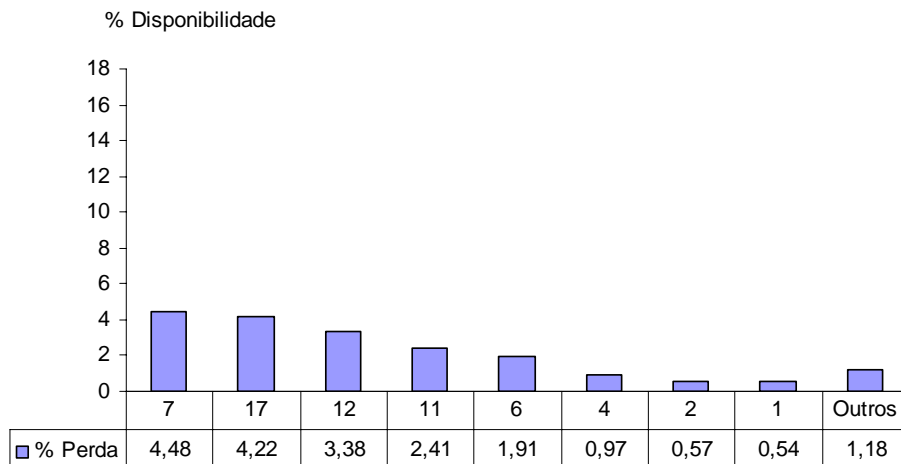


Figura 67: Perdas por disponibilidade do mês de julho 2004

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa