

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MEDIÇÃO E CONTROLE DE DESEMPENHO ESTRATÉGICO EM
SISTEMAS DE MANUFATURA**

Miguel Afonso Sellitto

Porto Alegre

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MEDIÇÃO E CONTROLE DE DESEMPENHO ESTRATÉGICO EM
SISTEMAS DE MANUFATURA**

Miguel Afonso Sellitto

Orientador: Prof. Cláudio Walter, Dr.

Banca Examinadora:

Prof. João Luis Becker, PhD.

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

Prof. Peter Bent Hansen, Dr.

**Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título
de Doutor em Engenharia – Ênfase em Gerência da Produção.**

Porto Alegre

2005

Esta tese foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de doutor em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Doutorado em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Cláudio Walter, Dr.

Orientador

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. José Luís Duarte Ribeiro, Dr.

Coordenador do PPGEP

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Luis Becker, PhD.

PPGA/UFRGS

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

PPGEP/UFRGS

Prof. Peter Bent Hansen, Dr.

PUCRS

DEDICA

Questo lavoro va dedicato a quei due personaggi che più si sono dati a che fare nel mestiere di cambiarmi pensiero: mio padre Sellitto Pasquale ed il mio nonno Schifino Francesco.

Va anche dedicato a papa Wojtyla, il cui pontificato è scaduto proprio nei giorni in cui anche questo lavoro è raggiunto al termine, nel aprile del MMV.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, prof. Dr. Cláudio Walter, que desde a graduação em engenharia elétrica, e passando pela monitoria na disciplina Circuitos Elétricos, acompanha-me e me apóia na trilha da construção de conhecimento.

Aos membros da banca examinadora, pelo metucioso trabalho que desenvolveram, tanto na fase de qualificação como na defesa, o que permitiu que se chegasse a uma versão final mais aprimorada deste trabalho.

Aos professores Francisco José Kliemann Neto e Paulo Fernando Pinto Barcellos, do PPGEF, e Jaime Fensterseifer e Denis Borenstein, do PPGA, pela excelência dos debates que promoveram e dos conteúdos apresentados em suas disciplinas, pela influência que tiveram em meu pensamento, o que me permitiu chegar ao ponto de propor este trabalho.

Aos demais professores do PPGEF e do PPGA que ajudaram na minha formação, por meio de suas disciplinas e do ambiente de construção de conhecimento que promoveram, em particular os prof. Flávio Fogliatto e Leonardo Rocha de Oliveira.

Aos colegas de doutorado que, pelas discussões em aula e pelo companheirismo desenvolvido, contribuíram para a construção desta tese.

Aos colegas de docência da UNISINOS, pelo apoio e compartilhamento de angústias e ansiedades típicas de um período de doutoramento, em particular aos profs. Giancarlo Medeiros Pereira, Miriam Borchardt, Jacinto Ponte Jr., Andrea Parisi Kern e Lia Weber Mendes.

Ao eng. MSC Ricardo Felizzola e ao eng. MBA Julio Sieczkowski, respectivamente presidente e diretor industrial da Altus S.A., pelo incentivo à pesquisa e participação no processo de construção de conhecimento.

Aos engenheiros Tiago Simioni, Jeferson Domingues e Vanessa Giordani pelo apoio e participação nas pesquisas de campo.

A toda minha família e amigos, pelo apoio recebido durante a jornada.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para medição e controle de uma estratégia pré-existente de manufatura, visando a preencher uma lacuna identificada nos processos de gestão estratégica – a falta de alinhamento automático das ações definidas nos processos de planejamento estratégico de manufatura com a medição do desempenho. Observada sob uma perspectiva sistêmica, a manufatura se relaciona com o meio pela importação de informação, energia e materiais, exportando produtos, informação e serviços. Através de mecanismos de realimentação, como a medição de desempenho e a monitoração de grandezas ambientais, a manufatura governa seus recursos de modo a atingir objetivos, geralmente estabelecidos no planejamento estratégico. Considerando a problemática de medição e controle, faz-se uma discussão sobre a perspectiva sistêmica da manufatura, sobre formas de estruturar objetos, muitas vezes intangíveis, que deverão ser medidos e sobre modelos já propostos de medição do desempenho organizacional, comparando-os e propondo-se uma classificação. Apoiado na revisão bibliográfica, por um método de pesquisa hipotético-dedutivo, propõe-se uma metodologia para estruturar um sistema de medição de uma estratégia existente, que permita o controle das ações sempre que os objetivos não estejam sendo alcançados e que possa se adaptar sempre que o cenário estratégico varie. Por um método de trabalho de aproximações parciais testa-se e refina-se a metodologia proposta. Inicia-se a fase experimental pela modelagem e avaliação da capacidade de competição de uma manufatura de equipamentos eletrônicos, dada uma estratégia existente. Passa-se então à modelagem de parâmetros de processo de manufatura, tais como o tempo de atravessamento, o inventário em processo e o desempenho, necessários para medições internas, testada em uma manufatura calçadista. Agrega-se então ao conhecimento já testado uma técnica de otimização de cursos de ação estratégica e testa-se a metodologia como um todo em uma estratégia existente de manufatura mecânica. Ao fim, discute-se o caso e comparam-se os resultados com outras fontes, encaminhando-se a continuidade de pesquisas.

Palavras-chave: medição de desempenho, controle de desempenho, estratégia de manufatura.

ABSTRACT

This thesis aims to propose a methodology to measure and control the execution of a prior manufacturing strategy, looking for fulfilling the gap addressed in strategic management processes – the lack of automatic alignment between manufacturing and operations strategic guidelines and performance measurement. Looking in a systemic perspective, manufacture relates itself with environment by importing information, energy and materials, and exporting goods, information and services. By feedback mechanisms, as performance measurement and environment follow-up, manufacture can govern resources in order to achieve goals, mainly established in strategic planning. Regarding the problem of measuring and control, it discusses the systemic perspective of manufacturing, how to structure objects that are to be measured, often intangibles, and models already proposed of performance measurement, by comparing and classifying them. Supported by the literature review and a hypothetical-deductive method, it is proposed a methodology to structure a performance measurement system, able to control actions when the goals are not reached and whenever the competitive scenario is to be changed. By partial approaches, the methodology is tested and refined, beginning by modeling and evaluating the competitiveness of a manufacturing strategy in a electronic parts manufacturing system. Then a modeling of manufacturing parameters, like the lead-time, work-in-process and performance, required to inner measurements, is proposed and tested in a shoe-maker system. After this, a optimization technique for courses of actions prioritization is added, and the whole methodology is tested in a mechanical tools manufacturing system, given a strategy. At the end, it discusses the case and compares the results with reported data from references, giving rise to methodological suggestions for the sake of continuity of the research.

Key-words: *performance measurement, performance control, manufacturing strategy.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação sistêmica para a medição de desempenho.....	17
Figura 2: Fases do processo de gestão estratégica e contribuição desta tese	18
Figura 3: Metodologia de medição e controle de estratégia de manufatura	25
Figura 4: Esquema canônico da realimentação negativa	36
Figura 5: Modelos como representação de situações de interesse.....	37
Figura 6: Hierarquia geral e arborescência	62
Figura 7: Modelo Quantum de medição de desempenho.....	78
Figura 8: Relacionamento entre estratégias	91
Figura 9: Análise da estrutura de competição em uma indústria.....	93
Figura 10: Potencial de crescimento dos conceitos de desempenho	106
Figura 11: Análise bidimensional dos construtos de desempenho da empresa focal	108
Figura 12: Curva logística de um recurso produtivo	112
Figura 13: Inserção da proposta em um MPC existente	113
Figura 14: Estrutura do tempo de atravessamento.....	114
Figura 15: Elementos de resultado simplificado e bidimensional.....	115
Figura 16: Elemento de resultado da ordem de fabricação	116
Figura 17: Centro de trabalho conforme o modelo do funil.....	117
Figura 18: Diagrama de resultados em um funil produtivo	118
Figura 19: Organização hierárquica da unidade de valor em funis produtivos.....	120
Figura 20: Exemplos de arranjos de manufatura	122
Figura 21: Transformações simplificadoras em arranjos produtivos	123
Figura 22: As funções medição e controle organizacional por malha fechada.....	128
Figura 23: Tela do sistema de informação para ações de controle estrito	128
Figura 24: Tela do sistema de informação para ações de controle amplo	130
Figura 25: Grafo representativo do caso	131
Figura 26: Diagrama de resultado do sistema de manufatura	134
Figura 27: Histograma do tempo de atravessamento simulado.....	137
Figura 28: Monitoração do tempo de atravessamento	140
Figura 29: Localização das distribuições no plano (β_1 , β_2)	142
Figura 30: Grafo da manufatura em estudo.....	145

Figura 31: Representação da rota estratégica	150
Figura 32: Diagrama de resultados da manufatura	159
Figura 33: Análise bidimensional da execução estratégica original.....	169
Figura 34: Visualização integrada das lacunas de desempenho.....	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Incidências dos temas de pesquisa em periódicos	19
Tabela 2 - Forma geral de uma matriz de decisão	64
Tabela 3 - Opções de preferência com base na comparação pareada	70
Tabela 4 - Comparação entre classes de sistemas de medição de desempenho	76
Tabela 5 - Critérios de pontuação do PNQ	83
Tabela 6 - Critérios de pontuação do Prêmio Shingo	84
Tabela 7 - Objetivos de competição comparados	95
Tabela 8 - Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa	97
Tabela 9 - Adequação das abordagens ao estudo	97
Tabela 10 - Estrutura de competitividade da manufatura da empresa focal	101
Tabela 11 - Valores associados às categorias das variáveis de desempenho	102
Tabela 12 - Avaliação do desempenho competitivo da manufatura	102
Tabela 13 - Modelo para a avaliação de desempenho da manufatura da empresa focal	104
Tabela 14 - Verificação de confiabilidade do questionário	106
Tabela 15 - Lacunas de desempenho competitivo da manufatura	107
Tabela 16 - Variáveis de estado de funis produtivos	120
Tabela 17 - Relação entre as tipologias de sistemas produtivos e a unidade de valor	121
Tabela 18 - Comparação entre geradores de números aleatórios	126
Tabela 19 - Tempos de atravessamento simples das remessas	132
Tabela 20 - Tempos de atravessamento ponderados por quantidade	133
Tabela 21 - Valores esperados comparados para os tempos de atravessamento	133
Tabela 22 - Análise de inventário	134
Tabela 23 - Medição do tempo de atravessamento pelo limite central	135
Tabela 24 - Medição do tempo de atravessamento pelos momentos superiores	135
Tabela 25 - Distribuições de máxima verossimilhança ajustadas aos funis produtivos	136
Tabela 26 - Parâmetros médios obtidos por simulação computacional	136
Tabela 27 - Probabilidades dos funis deterem os maiores tempos de atravessamento	137
Tabela 28 - Segunda coleta de dados	140
Tabela 29 - Tempos de atravessamento antes e depois das ações de controle	141
Tabela 30 - Cursos de ação previamente propostos	148
Tabela 31 - Arborescência representativa da estratégia de manufatura	152

Tabela 32 - Teste de confiabilidade da representação da estratégia de manufatura.....	153
Tabela 33 - Medição da execução da estratégia de manufatura	154
Tabela 34 - Desvios na estratégia de manufatura	155
Tabela 35 - Informações para a modelagem de manufatura	157
Tabela 36 - Cálculo dos intervalos de entrada e saída de ordens	158
Tabela 37 - Capacidades dos cursos de ação, 1ª parte	161
Tabela 38 - Capacidades dos cursos de ação, 2ª parte	162
Tabela 39 - Priorização dos cursos de ação.....	165
Tabela 40 - Resultados dos objetivos estratégicos	169
Tabela 41 - Tempos de atravessamento de famílias de ordens	171
Tabela 42 - Blocos construtivos de estratégias.....	175
Tabela 43 - Apoio à escolha da estratégia sob cenários de competição	177
Tabela 44 - Ponderação dos objetivos estratégicos segundo cenários.....	177
Tabela 45 - Análise comparada entre estratégias	181

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP - *Analytical Hierarchical Process*;

ANTP - Associação Nacional de Transportadores de Passageiros;

BSC - *Balance Scorecard*;

CAD - *Computer Aided Design*;

CAM - *Computer Aided Manufacturing*;

CIM - *Computer Integrated Manufacturing*;

DfX – *Design for ...*;

DMD - Decisão Multicritério Discreta;

ERP - *Enterprise Resource Planning*;

EVA - *Economic Value Added*;

I_m - Inventário médio;

IPDS – *Indicator Performance Development System*;

MPC - *Manufacturing planning control*;

MPS - *Master Production Schedule*;

MRP - *Materials Requirement Planning*;

MRP II - *Manufacturing Resources Planning*;

MTBF – *Mean Time Between Failures*;

MTBF – *Mean Time to Repair*;

PE_m - Desempenho Médio;

PMSDP – *Performance Measurements System Development Process*;

PNQ - Prêmio Nacional da Qualidade;

pp – pontos percentuais;

SPSS – *Statistical Program for Social Sciences*;

TL_m - Tempo de Atravessamento Médio;

TL_{m_w} - Tempo de Atravessamento Médio Ponderado;

TL_{m_wq} - Tempo de Atravessamento Médio Ponderado por Quantidade;

TL_{m_wo} - Tempo de Atravessamento Médio Ponderado por Tempo Operacional;

TIO - Tempo Inter-Operacional;

TO - Tempo Operacional;

TQM - *Total Quality Management*;

UEP - Unidade de Esforço Produtivo;

UV - Unidade de Valor.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	TEMA.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA DO TEMA E DO TRABALHO.....	18
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	20
1.4	METODOLOGIA DE PESQUISA E DE TRABALHO.....	21
1.5	DELIMITAÇÕES E ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	SISTEMAS E AUTO-REGULAÇÃO	27
2.1.1	OS SISTEMAS E A TEORIA GERAL DE SISTEMAS	29
2.1.2	ORGANIZAÇÃO, COMPLEXIDADE E VARIEDADE	32
2.1.3	ESTRUTURAS DE REALIMENTAÇÃO E CIBERNÉTICA.....	35
2.1.4	CIBERNÉTICA GERENCIAL E CIBERNÉTICA ORGANIZACIONAL.....	39
2.1.5	ORGANIZAÇÕES PRODUTIVAS COMO SISTEMAS	40
2.1.6	MANUFATURA COMO SISTEMA: O ENFOQUE CIBERNÉTICO	45
2.2	ESTRUTURAÇÃO E MEDIÇÕES EM OBJETOS DE ESTUDO	49
2.2.1	A CAUSAÇÃO E AS RELAÇÕES DE CAUSALIDADE EM OBJETOS DE ESTUDO	51
2.2.2	TERMOS TEÓRICOS, CONSTRUTOS, CONCEITOS E INDICADORES	55
2.2.3	MEDIÇÕES ATRAVÉS DE VARIÁVEIS	56
2.2.4	MEDIÇÕES MULTIVARIADAS COMO PROBLEMAS DE DECISÃO	60
2.2.5	PROBLEMAS DE DECISÃO E PREFERÊNCIAS DE DECISORES	63
2.2.6	UM MÉTODO DE APOIO À DECISÃO MULTICRITERIAL: O AHP	67
2.2.7	OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA EM PROBLEMAS DE DECISÃO.....	71
2.3	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO E CONTROLE DE ESTRATÉGIAS	73
2.3.1	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO MEDIANAMENTE ESTRUTURADA	77
2.3.2	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO FORTEMENTE ESTRUTURADA	81
2.3.3	CONTROLE ESTRATÉGICO.....	84
2.3.4	CONTROLE VIA ESTRATÉGIAS MÚLTIPLAS	87
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS AO CAPÍTULO.....	88
3	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO COMPETITIVO EM MANUFATURA.....	90
3.1	ESTRATÉGIA E COMPETITIVIDADE EM MANUFATURA.....	90
3.2	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA: METODOLOGIA E APLICAÇÃO.....	96
3.2.1	RESULTADOS DO GRUPO FOCADO	99
3.2.2	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO E DO AHP.....	101
3.2.3	DISCUSSÃO.....	103
3.3	RESUMO DO MÉTODO E CONSIDERAÇÕES FINAIS AO CAPÍTULO.....	109
4	MODELAGEM DE PARÂMETROS DE MANUFATURA	110
4.1	TEMPO DE ATRAVESSAMENTO E CONTROLE DE MANUFATURA	110
4.2	MODELO DO FUNIL E ARRANJOS PRODUTIVOS	116
4.2.1	VARIÁVEIS DE ESTADO E RELAÇÕES ENTRE FUNIS	119
4.2.2	CONEXÕES E SIMPLIFICAÇÕES EM ARRANJOS DE FUNIS	121
4.2.3	SOMA DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS EM FUNIS	123
4.2.4	AÇÕES DE CONTROLE EM ARRANJOS DE FUNIS PRODUTIVOS	126
4.3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA: METODOLOGIA E APLICAÇÃO.....	129

4.3.1	INFORMAÇÕES DA MANUFATURA.....	131
4.3.2	MODELAGEM PARA O TEMPO DE ATRAVESSAMENTO	134
4.3.3	DISCUSSÃO.....	137
4.4	RESUMO DO MÉTODO E CONSIDERAÇÕES FINAIS AO CAPÍTULO.....	142
5	ESTUDO DE CASO.....	144
5.1	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA: METODOLOGIA E APLICAÇÃO.....	144
5.1.1	APLICAÇÃO DOS PASSOS 1 E 2: ESTRUTURA DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO.....	146
5.1.2	APLICAÇÃO DOS PASSOS 3 E 4: MEDIÇÃO E PRÉ-CONTROLE DO DESEMPENHO	151
5.1.3	APLICAÇÃO DOS PASSOS 5 E 6: PRIORIZAÇÃO E EXECUÇÃO DA ESTRATÉGIA	163
5.2	DISCUSSÃO	165
5.2.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	167
5.2.2	DISCUSSÃO METODOLÓGICA	173
5.2.3	MEDIÇÃO TIPOLÓGICA DE ESTRATÉGIAS	177
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS AO CAPÍTULO.....	180
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	182
6.1	RESUMO DA METODOLOGIA E HIPÓTESE DE TRABALHO	182
6.2	CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DAS PESQUISAS	184
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187

1 INTRODUÇÃO

Uma parte relevante da gestão estratégica é a medição e o controle dos resultados gerados pelas ações definidas em estratégias funcionais. Se a medição dos resultados for incompatível com os objetivos das estratégias, estes podem não ser atingidos. Um sistema de medição de desempenho deve ser o elo de realimentação que conecta os resultados das ações estratégicas com os objetivos de uma organização produtiva.

Teses recentes de doutoramento, apresentadas por Hansen (2004), Müller (2003), Gasparetto (2003) e Martins (1999), têm incluído propostas e revisões da literatura sobre o tema. Bourne et al. (2000) citam abordagens já apresentadas para a medição de desempenho. Miranda e Silva (2002) apontam vinte e um modelos usando medidas não-financeiras publicados após 1990, oito dos quais mencionando explicitamente a estratégia.

Segundo Martins (1999), os sistemas de medição mais encontrados até 1990 se preocupavam mais com resultados financeiros do que com outras dimensões de desempenho. Metas exclusivamente financeiras, tais como o lucro líquido e a taxa de retorno de investimentos, assumiam o papel de referencial de desempenho de empresas. Segundo Bourne et al. (2000) e Kennerly e Neely (2003), tais medições acarretam, entre outros problemas: (i) falta de informação sobre o desempenho futuro; (ii) enfoque em otimizações de curto prazo e locais; (iii) perda de alinhamento com estratégias mais elaboradas de produção; e (iv) pouca informação para decisões em ambientes turbulentos.

Segundo Kaplan e Norton (1997), medições exclusivamente financeiras não são mais eficazes no controle estratégico de uma organização produtiva. Os autores sugerem o uso de medições que considerem valores intangíveis, tais como o aprendizado e o crescimento, em conjunto com as medições financeiras. Segundo Suwignjo, Bititci e Carrie (2000), pesquisas recentes comprovaram que medições financeiras não são capazes de medir e integrar todos os

fatores críticos exigidos para o sucesso de uma operação. Miranda e Silva (2002) concluem que medidas puramente financeiras são suficientes apenas se a concorrência não é acirrada, as mudanças são lentas ou há pouca introdução de novos produtos.

Para Kennerly e Neely (2003), a natureza da competição atual tem exigido responsividade em fatores, tais como a qualidade, a velocidade nas entregas, a confiabilidade nos prazos e a flexibilidade em serviços. Tais fatores sempre foram relevantes na obtenção do resultado, porém, em ambiente previsível, sempre é possível corrigir desvios nestes fatores a partir de quedas nos resultados financeiros finais. Com a aceleração do ritmo da competição, parece não ser mais possível manter o desempenho competitivo gerenciando os resultados finais. Podem ser necessárias medições multidimensionais e intermediárias, as variáveis de estado, cujo desempenho indique a tendência dos resultados finais e antecipe ações corretivas.

Estruturas como o *Balanced Scorecard* (BSC) e o prêmio Malcolm Baldrige para a excelência organizacional usam medições multidimensionais e intermediárias. Evans (2004) afirma que estas são as estruturas mais influentes de medição de desempenho já apresentadas.

Multidimensões e medições intermediárias remetem ao campo da decisão multicriterial. Para French (1986), dificilmente em um problema de decisão multicriterial se tem um modelo clara e unicamente estruturado. O decisor deve usar sua percepção para representar o problema, identificando atributos que influenciam o objetivo, e desdobrando-os em fatores e sub-fatores até que todos os aspectos importantes tenham sido relacionados em uma estrutura arborescente. Ao fim atribuem-se pesos aos níveis da estrutura, resumindo-se o problema de decisão a uma comparação entre vetores n -dimensionais.

Um sistema de medição de resultados pode ser o elo de realimentação de gestores, pois estes reagem a erros ajustando procedimentos, em ciclos de aprendizagem, o que remete à teoria dos sistemas. Um sistema é um conjunto de elementos interativos e relacionados entre si e com o meio-ambiente, que possui um objetivo, forma um todo e pode ser delimitado por fronteiras. Quando o sistema não possui grandezas de entrada ou saída é dito um sistema fechado; do contrário é dito um sistema aberto. Os sistemas produtivos são sistemas abertos por serem influenciados por forças externas e por usarem mecanismos internos para recompor o equilíbrio (WIENDAHL, 1989).

Um mecanismo de auto-regulação como a realimentação é estudado pela cibernética. Um sistema cibernético pode se transformar e sobreviver ao detectar mudanças ambientais a tempo de executar as adaptações necessárias. Em sistemas produtivos, um modo de detectar mudanças e realimentar informações é o uso de medições de desempenho. Quase todas as formas de organização humana podem ser descritas como sistemas cibernéticos, inclusive

uma organização produtiva. Não se compreende, portanto, uma parte de um sistema produtivo sem que se estudem também as suas relações com as outras partes, suas interdependências e suas cadeias de efeitos em ambos os lados da fronteira organizacional (WIENDAHL, 1989).

A gestão estratégica pode ser representada como na figura 1. Nesta figura, o símbolo de somatório se refere à ação de comparação entre valores. A organização define a visão, a missão, os valores e os objetivos a desdobrar em estratégias de operação. Durante e após a execução, mensuram-se os resultados, que serão o elo de realimentação da estratégia e do processo estratégico. Kaplan e Norton (1997) apontam um duplo circuito de aprendizagem, reconhecível na figura, referindo-se à execução da estratégia e à formulação da estratégia. Bourne et al. (2000) citam duas funções dos sistemas de medição de desempenho, também reconhecíveis na figura: a medição da execução estratégica e a verificação da validade dos pressupostos assumidos na formulação da estratégia. Pode ocorrer que os objetivos de uma estratégia funcional tenham sido atingidos, mas o objetivo de negócios não tenha sido alcançado, indicando que há falha no processo de formulação da estratégia.

Deste modo, esta tese tratará da medição e controle de estratégias funcionais, enfocando especificamente, de um ponto de vista sistêmico, a estratégia de manufatura.

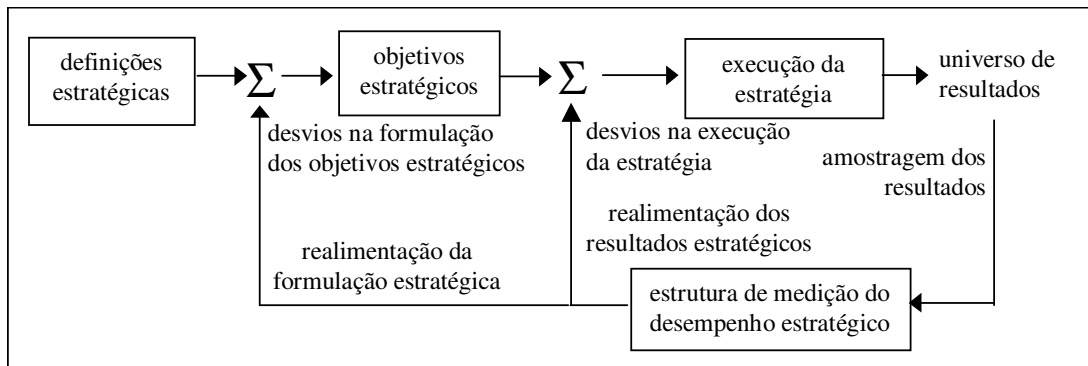


Figura 1: Representação sistêmica para a medição de desempenho

Fonte: elaborada pelo autor

1.1 Tema

O tema desta tese de doutorado é a medição e o controle do desempenho de uma estratégia de manufatura. A medição é concebida em três níveis hierárquicos. O nível inferior contém variáveis manifestas, os indicadores, mensuráveis diretamente ou calculadas por

modelos específicos, segundo a manufatura. O nível intermediário mensura o desempenho dos objetivos estratégicos, obtido por composição dos indicadores que sustentam cada objetivo. O nível superior, finalmente, calcula um valor para o desempenho global da estratégia. Em relação ao controle de desempenho, será proposta uma abordagem para classificar e priorizar cursos de ação, alinhando os esforços de melhoria com a estratégia de manufatura.

Pereira e Nagano (2002) ilustram o processo de gestão estratégica através da figura 2. Nesta figura, o processo inicia pela análise ambiental e passa pela formulação e implementação da estratégia. Ao fim, tem-se a fase de avaliação, a partir dos resultados observados. Sob a ótica da figura 2, o tema desta tese é a função de realimentação, assinalada na figura, especificamente para uma estratégia de manufatura.

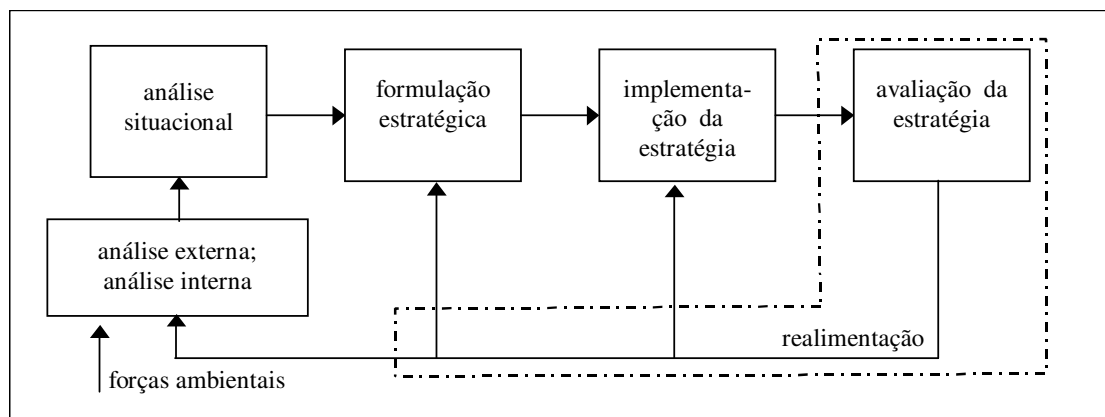


Figura 2: Fases do processo de gestão estratégica e contribuição desta tese

Fonte: adaptado de Pereira e Nagano, 2002, pg. 109

1.2 Justificativa do tema e do trabalho

Bititci (1995) cita pesquisas que apontam o desdobramento dos objetivos de negócios na manufatura e a medição de seu desempenho como passos para uma vantagem competitiva. Suwignjo, Bititci e Carrie (2000) argüem que sistemas de medição baseados exclusivamente em resultados financeiros não atingiram este objetivo. Para White (1996), uma estrutura padronizada de medições garante que não haja medições excessivas e nem se negligenciem medições importantes. Para Neely, Gregory e Platts (1995), os indicadores de desempenho individuais devem fazer parte de um conjunto maior estruturado em dimensões.

Um sistema de medição de desempenho pode ser pensado como uma estrutura hierarquizada de variáveis de estado, com metodologias específicas de cálculo. Uma decorrência de tal estrutura é a possibilidade de comparação dos desempenhos de estratégias diferentes para os mesmos objetivos de negócios. Estruturas genéricas, no entanto, endereçam situações intermediárias: adotado um modelo padronizado de medição, caso o cenário se modifique, perde-se especificidade, podendo surgir lacunas entre objetivos e medições.

Justifica-se o tema desta tese pela relevância que estruturas de medição de desempenho têm apresentado no gerenciamento de operações e pela necessidade de acrescentar flexibilidade a estas estruturas. Também se justifica o tema pela necessidade de verificar a validade das relações causa-efeito pressupostas na formulação da estratégia.

Para obter evidência empírica sobre a oportunidade, fez-se uma busca nos anais do ENEGEP de 2001 a 2004 e nos periódicos *International Journal of Production Research* e *International Journal of Production Economics*. Escolheu-se o ENEGEP por entender-se que represente o pensamento nacional em engenharia de produção. Escolheram-se os periódicos por serem os veículos internacionais mais bem cotados na lista Qualis 2004 da CAPES e com um número significativo de incidências, o que sugere que suas linhas editoriais contemplem os temas enfocados. O resultado da pesquisa é apresentado na tabela 1. Entende-se que a introdução do controle estratégico junto com a medição estratégica seja uma oportunidade de contribuição para o estado-da-arte do tema.

Tabela 1 - Incidências dos temas de pesquisa em periódicos

veículos	palavras-chave	
Anais do ENEGEP de 2001 a 2004	medição de desempenho = 100 artigos	[controle estratégico] ou [controle de estratégias] = 18 artigos
<i>International Journal of Production Economics</i>	<i>performance measurements</i> = 95 artigos	<i>strategic control</i> = 19 artigos
<i>International Journal of Production Research</i>	<i>performance measurements</i> = 145 artigos	<i>strategic control</i> = 11 artigos

Fonte: veículos citados

Outros aspectos que devem ser considerados na justificativa são a viabilidade e o ineditismo da proposta. Entende-se que esta proposta, por ser empírica e por ter seu campo de aplicação em organizações de manufatura locais, é viável, tanto do ponto de vista da operacionalização da pesquisa como da generalização dos resultados. Quanto ao ineditismo, Melnick, Stewart e Swink (2004) apontam que a medição de desempenho ainda é um desafio a pesquisadores, pois os sistemas existentes são mal entendidos e as suas fundamentações

teóricas são de escassa articulação. Até quanto se investigou na literatura, não se encontrou uma abordagem que trate as relações de causalidade e de temporalidade e a influência dos planos de ação como ora proposto.

Em relação ao estado-da-arte, o tema é recorrente em pautas de pesquisa, havendo desenvolvimentos prévios que são aproveitados. Os modelos do *Balanced Scorecard*, o BSC, proposto por Kaplan e Norton (1997), e do prêmio Malcolm Baldrige (BNQP, 2003), por exemplo, já propuseram estruturas de medições de desempenho que podem ser usadas no controle de estratégias. Ambos os métodos assumem premissas que facilitam a implantação das medições, pois a estrutura das variáveis já está formulada, mas limitam a ação de medição, pois impedem que se modifique substancialmente esta estrutura.

O BSC apresenta alguma flexibilidade, pois não especifica medições ou importâncias relativas, mas sugere que as medições preencham quatro categorias pré-definidas: financeira, clientes, processos e aprendizado. Já o prêmio Malcolm Baldrige não apresenta flexibilidade, pois especifica as categorias, as medições e suas importâncias relativas. Caso o cenário estratégico não corresponda integralmente aos modelos, haverá um descolamento entre o cenário de competição e a medição estratégica, que pode ou não ser aceitável. O descolamento ocorre porque a estratégia real pode não ser representada pelas variáveis de medição ou pelas categorias pré-definidas. A diferença da metodologia ora proposta em relação ao que se encontrou na literatura é a capacidade de reduzir o quanto se queira este descolamento e a capacidade de prever o quanto a estratégia será eficaz, o que permite que o controle seja mais rápido e mais incremental do que em outros métodos.

1.3 Objetivos do trabalho

O objetivo geral da tese é propor e testar uma metodologia de medição e controle do desempenho de uma estratégia de manufatura. A medição deve ser compreensiva e flexível em relação aos fatores de competição e aos objetivos da estratégia e o controle deve explicitar as influências esperadas dos planos de ação nas variáveis de medição.

Os objetivos específicos são: (i) proposição e teste de uma metodologia para a avaliação do desempenho competitivo em manufatura; (ii) proposição e teste de uma modelagem de parâmetros internos de manufatura; (iii) uso dos objetivos anteriores para a proposição e teste

em um caso-piloto da metodologia de medição e controle do desempenho de uma estratégia de manufatura; e (iv) discussão e refinamento da metodologia, obtendo-se uma hipótese de trabalho. Objetiva-se chegar a uma estrutura flexível de medição e controle de desempenho que acompanhe as mudanças no cenário e nos fatores de competição para que se atinjam os objetivos de manufatura.

1.4 Metodologia de pesquisa e de trabalho

Para Vieira (2002), uma tese de doutoramento pode ser: (i) teórico-empírica; (ii) de revisão bibliográfica; (iii) de estudo de caso; (iv) teórica; (v) empírica; ou (vi) didática.

Pretende-se que esta tese seja do tipo (i), teórico-empírica, relacionando a teoria com observações empíricas. Neste tipo de tese constrói-se um embasamento teórico sobre um tema e coletam-se dados para a verificação do conhecimento construído ou tentam-se explicações teóricas oferecidas pelo conhecimento existente para dados coletados. Segundo Vieira (2002), este é o caminho mais trilhado para expandir uma fronteira de conhecimento e pode produzir contribuições úteis ao estado da arte.

Tenciona-se usar o enfoque de Russell (1977) para o método científico: (i) observação, composta de experiência vivencial acumulada, estudos analíticos e referenciais teóricos que organizem os conhecimentos; (ii) tentativa de generalização de regularidades observadas, através da formulação de hipóteses; e (iii) experimentação das hipóteses em estudos de caso que as refinem e robusteçam e incorporem peculiaridades que escaparam à generalização.

Eckstein (1975, apud ROESCH, 1999) enumera cinco modos de contribuição de um estudo de caso: (i) ideográfico-configurativo, que oferece uma descrição profunda e específica de um objeto para outros estudos; (ii) configurativo-disciplinado, em que o pesquisador interpreta eventuais regularidades, esperadas ou não, observadas em um objeto; (iii) heurístico, em que uma situação é deliberadamente construída para expor relações potencialmente generalizáveis; (iv) sondagens plausíveis acerca de uma teoria proposta pelo modo heurístico; e (v) o caso crucial, que apóia ou refuta uma teoria.

Com foco no caráter teórico-empírico, o método de pesquisa é: (i) construção de um referencial teórico em assuntos de fundo, tais como os sistemas e a auto-regulação, a estruturação de objetos de pesquisa e decisão multicriterial e os atuais sistemas de medição de

desempenho; (ii) construção hipotético-dedutiva de um modelo para a avaliação de desempenho de competição em manufatura; (iii) construção hipotético-dedutiva de um modelo de medição de parâmetros presentes em estratégias de manufatura; (iv) construção hipotético-dedutiva, utilizando os achados anteriores, de uma metodologia para medição e controle de desempenho de uma estratégia de manufatura, com aplicação e refinamento indutivo da metodologia em um caso-piloto do tipo sondagem plausível; e (v) discussão e construção de uma hipótese de trabalho a ser testada em pesquisas de maior alcance.

Apresenta-se a seguir, para compreensão do objetivo da tese, a metodologia referida no item (iv), que será aplicada e discutida no capítulo 5.

Passo 1: Identificar a estratégia pré-existente de manufatura. A estratégia pré-existente deve ser composta por objetivos de manufatura, tais como *melhorar a resposta dos atuais processos* ou *qualificar colaboradores* e um plano estratégico, composto por cursos de ação, tais como *desgargalamento da fábrica*, *modificar lay-out da fábrica* ou *introduzir sistemas de remuneração variável*. Os objetivos existentes podem se relacionar com outras estratégias funcionais, tais como estratégias de recursos humanos, de mercado ou financeiras, ou podem refletir a própria estratégia de manufatura, enfocando suas especificidades, tais como a qualidade, a manutenção e a agilidade e flexibilidade na fabricação;

Passo 2: Definir indicadores e importâncias relativas. Os estrategistas debatem a estratégia existente, identificam os pressupostos admitidos para que se atinjam os objetivos, representam a rota estratégica pressuposta e associam a cada passo da rota uma grandeza ainda intangível que descreva e apreenda os aspectos julgados. A seguir, associa-se a cada grandeza intangível uma variável manifesta, chegando-se a uma estrutura hierárquica arborescente de três níveis: o termo teórico *objetivo global de manufatura*, os objetivos estratégicos de manufatura e as variáveis manifestas, os indicadores. Testa-se a confiabilidade da estrutura através de avaliação das grandezas intangíveis pelos estrategistas e aplicação do teste alfa de Crombach. Grandezas que apresentem desvios de interpretação deverão ser mais bem debatidas ou eventualmente modificadas, inclusive o indicador. Definida a estrutura, pelo AHP os estrategistas atribuem importâncias relativas aos objetivos da estratégia e aos indicadores dos objetivos. A importância relativa de cada indicador é obtida pela multiplicação das duas importâncias relativas anteriores. Este passo usa o desenvolvimento feito no item (ii) do método de pesquisa;

Passo 3: Medir os indicadores e categorizar o desempenho. Os estrategistas, valendo-se do planejamento estratégico e dos valores iniciais dos indicadores, estabelecem categorias numéricas de desempenho, que variam entre *ótimo* e *péssimo*, para os indicadores.

Alguns indicadores são obtidos diretamente do sistema de informações da empresa. Outros requerem algum tipo de modelagem. Para operações de serviços, por exemplo, a teoria das filas oferece um modelo que pode ser usado para o cálculo de parâmetros, tais como o número esperado de clientes e o tempo esperado até o serviço. Para a manufatura pode ser necessário o uso de um modelo de medição de parâmetros, tais como o valor esperado e a variabilidade do tempo de atravessamento, o inventário médio e o desempenho médio, já que estas grandezas medem o desempenho de objetivos estratégicos de manufatura e podem não ser acessíveis via sistemas de informação. O modelo é desenvolvido no item (iii) do método de pesquisa. A seguir atribuem-se valores entre 0 e 1 às situações dos indicadores, segundo a faixa categórica de desempenho. Pela soma de produtos da importância relativa do indicador (0 a 1) e da faixa categórica de desempenho atual (0 a 1), chega-se ao valor geral de desempenho estratégico, entre 0 a 1. O complemento é a lacuna estratégica total a preencher pela execução do plano. Também chega-se a lacunas individuais de indicadores;

Passo 4: Exercer o pré-controle. Cada curso de ação será avaliado quanto à sua capacidade de corrigir cada um dos indicadores e com isto contribuir para preencher a lacuna estratégica. Esta capacidade será categorizada, entre plena e nula, e associada a valores proporcionais, entre 0 e 1, estimando-se o desempenho estratégico a que se chegaria se todos os cursos fossem concluídos. A análise verifica a consistência dos cursos com os objetivos estratégicos, podendo-se modificar os mesmos antes da execução, caso a expectativa de preenchimento da lacuna não seja total;

Passo 5: Priorizar a execução estratégica. Cada curso de ação tem um custo, determinado no planejamento pré-existente, e um mérito, calculado pela soma dos produtos das importâncias dos indicadores pelas capacidades de influência do curso. Por um modelo de otimização, para diversos níveis de desencaixes, monta-se o conjunto de cursos que alcance o maior preenchimento da lacuna estratégica. Caso o conjunto seja menor do que a totalidade, não deve-se esperar o preenchimento total da lacuna; e

Passo 6: Executar e controlar os cursos de ação. À medida que os indicadores se movimentam, controlam-se os cursos, modificando o ritmo e a intensidade de execução. Ao fim de, por exemplo, seis meses, o processo é revisado, incorporando fatores de competição emergentes ou modificando ponderações, caso sua importância tenha se modificado. Após um ano é possível que a empresa realize um novo planejamento estratégico de manufatura, dando início a uma nova rodada de procedimentos. Neste ponto ter-se-á o desempenho global mês a mês da execução estratégica, entre 0 e 100%, que formará uma série histórica. Em um elo mais interno esta série realimenta as ações de controle da execução estratégica. Em um elo

mais externo, pode-se testar a validade da formulação estratégica, na medida em que um objetivo superior de negócios (por exemplo, um certo nível de faturamento) também deva ser atingido na mesma proporção que se atinja o resultado da manufatura. Caso esta relação não se verifique, os pressupostos assumidos na formulação estratégica não são válidos e deverão ser reformulados. É objetivo desta tese a rodada inicial do ciclo de controle de manufatura.

Sumariza-se a metodologia e a sua relação com a estratégia de negócios na figura 3.

Parte-se, no passo 1, dos dados importados do planejamento estratégico, chegando-se, no passo 6, à execução do plano modificado e priorizado. Observam-se na figura as malhas de controle estratégico. A malha mais interna (conector A) realimenta a execução, enquanto que a malha mais externa (conector B) realimenta a formulação da estratégia funcional de manufatura. A área pontilhada delimita o escopo desta tese.

Quanto ao método de trabalho, a metodologia de avaliação do desempenho competitivo em manufatura é testada em uma manufatura eletrônica. Escolheu-se a empresa por haver uma estratégia de manufatura reconhecível e comunicada, pela familiaridade do pesquisador com a indústria e com a empresa e pela complexidade e variabilidade nas operações de montagem sob encomenda e sob projeto e fornecimentos internacionais. Um grupo focado com estrategistas concorre para a construção da estrutura de avaliação do desempenho. O caso é do tipo heurístico. A seguir constrói-se a modelagem para a medição de parâmetros de manufatura. O modelo foi refinado em análises sucessivamente mais amplas, chegando-se a dois estudos de caso heurísticos, um na indústria metal-mecânica e outro na indústria calçadista, este último apresentado nesta tese. Finalmente, a metodologia proposta foi aplicada à estratégia de manufatura de um fabricante de ferramentas mecânicas que possui um processo de formulação estratégica e um sistema de informações. A escolha se justifica pelos mesmos motivos anteriores e pela diversidade em relação às indústrias até então investigadas. O caso é uma sondagem plausível, do qual se extrairá uma hipótese de trabalho, remetida à continuidade das pesquisas.

1.5 Delimitações e estrutura do trabalho

Não é objetivo desta tese discutir processos de planejamento estratégico, pressupondo-se que as organizações-alvo possuam objetivos estratégicos e planos de ação definidos.

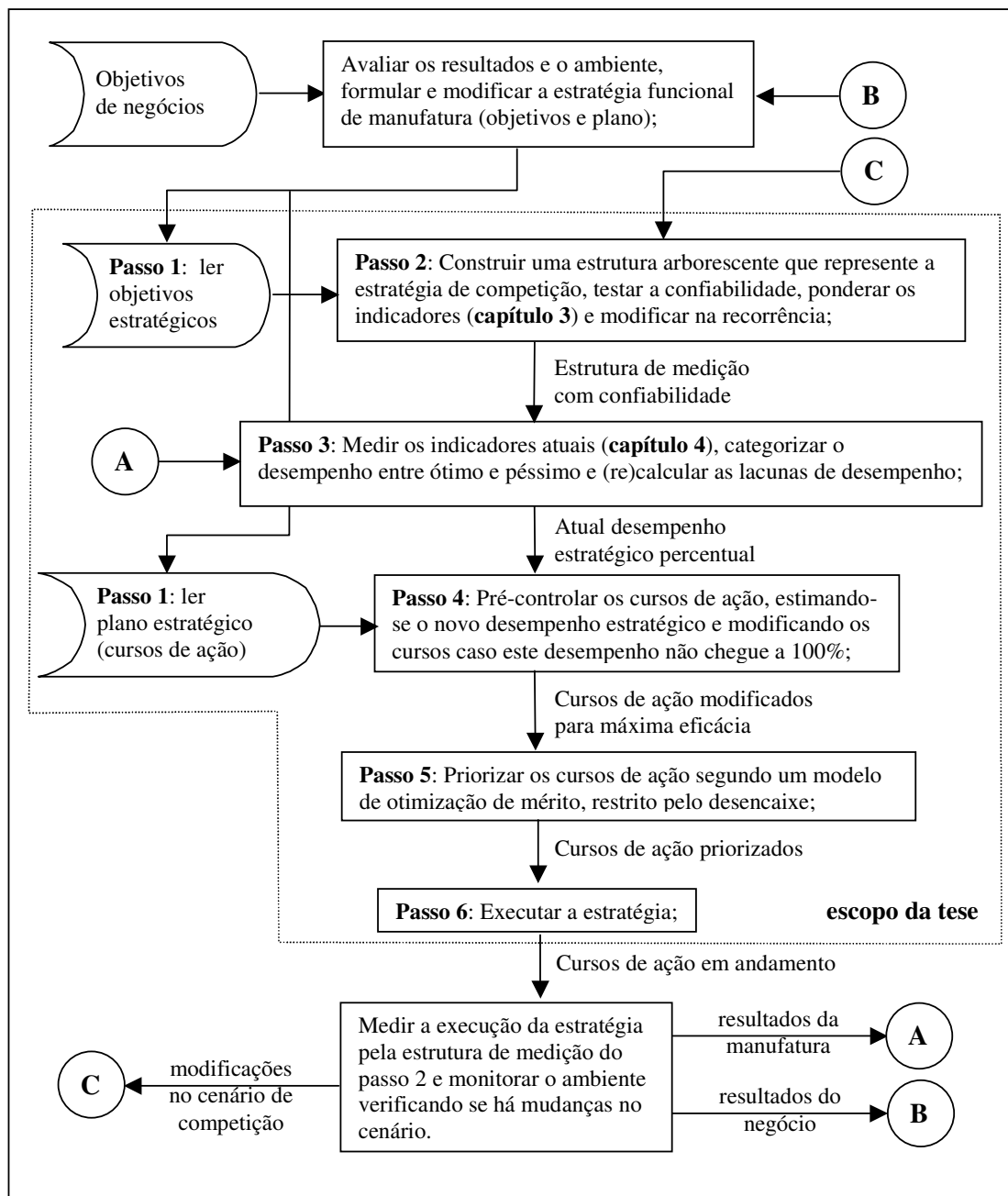


Figura 3: Metodologia de medição e controle de estratégia de manufatura

Fonte: elaborada pelo autor

O teste das proposições ocorre apenas na manufatura de base tecnológica, se bem que as conclusões possam ser estendidas, sob ressalvas pertinentes, a outros tipos de manufatura ou a operações de serviços. Os objetivos estratégicos devem poder ser escritos como uma combinação linear de construtos latentes, excluindo-se não-linearidades, circularidades e decisões difusas e não-rationais. O uso exclusivo do método AHP se justifica, pois é objetivo desta tese trabalhar com linearidades e racionalidade nas decisões, mas outros métodos

também podem ser usados. Como se verá no capítulo 2, o AHP pertence a uma classe de métodos que trabalha exclusivamente com preferências estritas e indiferenças, não aceitando preferências fracas ou incomparabilidades, que podem surgir em decisões difusas. A bibliografia consultada aponta o AHP como o método mais usado nestas condições.

A tese está estruturada em seis capítulos. No primeiro capítulo apresentam-se as considerações iniciais, contextualiza-se e justifica-se o tema, apresenta-se a metodologia de pesquisa e de trabalho as delimitações e a estrutura. No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica. No terceiro capítulo apresenta-se e testa-se a estrutura de avaliação do desempenho de competição de manufatura, que será usada no passo 2 da metodologia do capítulo 5. No quarto capítulo apresenta-se e testa-se a modelagem para os parâmetros de manufatura, que será usada no passo 3 da metodologia do capítulo 5. No quinto capítulo usa-se o material dos capítulos 3 e 4 e apresenta-se, testa-se e discute-se em um caso-piloto a metodologia para a medição e controle de estratégia de manufatura. No sexto capítulo apresentam-se as considerações finais e a continuidade e, ao fim, as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial está dividido em três sessões: (i) sistemas e auto-regulação, tratando do modo como os sistemas são constituídos e como a informação pode ser o elo de realimentação e de aprendizado; (ii) estruturação de objetos de estudo, tratando-se do modo como estes se organizam em cadeias de causalidade e como quantificar suas partes por métodos de apoio à decisão multicriterial; e (iii) sistemas de medição de desempenho e controle de estratégias.

2.1 Sistemas e auto-regulação

Até quanto se sabe, a idéia de uma teoria geral de sistemas foi introduzida pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy nos anos 1930. Segundo Klir (1969), a primeira apresentação oral do conceito foi feita por Bertalanffy em Chicago, em 1937, e as primeiras apresentações em artigos se deram entre 1945 e 1950. O trabalho de Bertalanffy dá seqüência a uma linha de pensamento iniciada por outros cientistas e filósofos que, desde Aristóteles, com a teleologia, e passando por Leibnitz e Kant, procuravam uma filosofia natural: um conjunto de explicações que pudesse descrever, com poucas adaptações, qualquer situação observada na natureza. Contribuições, tais como as obras de Lotka e de Whitehead, de 1925, e de Cannon, de 1929, entre outras, renunciaram e subsidiaram as idéias de Bertalanffy.

Segundo Checkland e Scholes (1999), Bertalanffy começou a elaborar o conceito de sistema ao perceber que idéias gerais referentes a todos organizados poderiam ser aplicadas a outros todos organizados. Não é provável que se chegue a uma definição única para sistema:

Klir (1969) reuniu vinte e quatro definições diferentes até então propostas para o conceito de sistema. Deseja-se explorar algumas das definições de sistemas.

Para Bertalanffy (1976; 1977), um sistema é um complexo de elementos em interação ordenada, não fortuita. A interação significa que elementos p participam em relações R , de modo que o comportamento de p_1 em R_1 é diferente do comportamento de p_1 em R_2 . Se os comportamentos de p_i em R_i não forem diferentes, não há interação e as relações R_i independem dos elementos p_i . Para Checkland e Scholes (1999), um sistema é um todo complexo cujas propriedades se referem ao todo e não aos componentes. Tais propriedades seriam (i) emergentes: surgem quando os componentes são colocados juntos em um todo relacionado, tal como a capacidade de deslocamento, que só surge quando se unem as partes de uma bicicleta; (ii) hierárquicas: à medida que se avança da base para o topo, varia o alcance das propriedades; e (iii) ligadas à sobrevivência: um todo pode sobreviver em um ambiente sujeito a variações se dispuser de processos de comunicação e controle que permitam adaptações. Checkland e Scholes (1999) propõem uma metáfora: um sistema é um conjunto adaptativo capaz de sobreviver em um ambiente mutável. Para Maciel (1974), um sistema é um todo organizado, dinamicamente relacionado com o exterior, sujeito a mudanças permanentes e que apresenta a cada momento um modo de ação. O autor destaca os conceitos de mudança e de modo de ação, através de definições auxiliares: (i) transformada é o novo estado de um sistema; (ii) transição é a passagem de um estado a outro; (iii) transformação é a seqüência de transições; (iv) processo é a seqüência de transformações; (v) desenvolvimento é a seqüência de processos; e (vi) evolução é a seqüência de desenvolvimentos.

Hopeman (1977) apresenta uma classificação das relações existentes em sistemas: (i) primeira ordem, se são absolutamente necessárias para a operação do sistema, tal como a troca de material entre máquinas em série; (ii) de segunda ordem, se são complementares e se a sua existência melhora o desempenho de um elemento, tal como a relação entre um operador de máquina e um instrutor de treinamento; e (iii) de terceira ordem, se são redundantes, tais como a existência de máquinas que podem cumprir a mesma tarefa, ou contraditórias, tais como a existência simultânea de uma política e de sua oposição.

Sistemas podem ser abertos ou fechados. Sistemas abertos são capazes de realizar trocas com o meio-ambiente e sistemas fechados são impermeáveis ao meio. Segundo Bertalanffy (1976; 1977), um organismo é um sistema aberto, pois são as trocas com o meio ambiente que o mantém. Em oposição a sistemas fechados, que, pela segunda lei da termodinâmica, eventualmente chegam a um estado de equilíbrio em que os processos param, os sistemas abertos podem alcançar um estado constante e independente do tempo, um equilíbrio

dinâmico, em que os processos internos se mantêm ativos, sustentados pelas trocas com o ambiente, e independentes das condições iniciais. Tal propriedade é a equifinalidade e explica situações em que mecanismos de auto-regulação conduzem um sistema à mesma situação final, independente do ponto de partida ou das perturbações sofridas na transformação.

Um sistema pode ser considerado em repouso em seus instantes inicial e final. Entre estes instantes, enquanto o sistema está processando entradas e gerando saídas, diz-se que está em equilíbrio dinâmico, que será rompido se um limite for ultrapassado. Neste caso o sistema sai de controle e sua saída só será contida por barreiras físicas. O equilíbrio dinâmico pode se manifestar tanto na partida do sistema a partir do repouso como na resposta a variações de entrada. Devido a inércias naturais do sistema, a variação na resposta não é instantânea, podendo ocorrer comportamento de aproximação exponencial, ultrapassagens (*overshoots*) ou oscilações amortecidas em direção ao novo estado de equilíbrio (HOPEMAN, 1977).

2.1.1 Os sistemas e a Teoria Geral de Sistemas

A teoria geral de sistemas foi publicada em alemão em 1945 e em inglês em 1950 e foi apresentada como uma tentativa de generalização de princípios observados em diversos campos de estudo, tais como a física, a biologia e as ciências sociais, que poderiam ser aplicados a outros campos. A teoria dos sistemas deu origem à cibernética e à ecologia e foi introduzida na administração e na economia, criando uma perspectiva para o estudo das organizações de produção (BERTALANFFY, 1977; CIRNE-LIMA, 2003).

Segundo Bertalanffy (1976), a teoria geral dos sistemas tem por fim identificar propriedades, princípios e leis características dos sistemas em geral, independente do tipo e da natureza dos elementos, das relações e dos campos de força existentes. A teoria pressupõe que existam modelos, princípios e leis que se apliquem a qualquer tipo de sistema. Tal teoria seria interdisciplinar e aplicada na investigação de fenômenos estudados nos diversos ramos da pesquisa, tratando de caracterizar formalmente os sistemas, sem prejuízo no estudo de suas diferenças. Esta disciplina assumiria uma forma lógico-matemática, expressa por um conjunto de equações diferenciais simultâneas, capaz de enunciar princípios e estender propriedades já estudadas em um sistema a outros sistemas, ainda em estudo. Por exemplo, propriedades dos

fenômenos estocásticos poderiam ser estendidas como hipóteses de trabalho a outros sistemas, tais como a engenharia de tráfego (GAZIS, 1966, apud BERTALANFFY, 1977).

Cirne-Lima (2003) se refere à teoria geral dos sistemas como a teoria da auto-organização. Segundo o autor, um sistema é um processo circular aberto energeticamente para o ambiente e fechado sobre si mesmo em relação à estrutura e organização. Um sistema estável se retrodetermina, se realimenta, se recompõe e se reorganiza plasticamente a partir do meio-ambiente, é seletivo em suas interações, pode se replicar e se reproduzir e, se afastado de seu ponto de equilíbrio, pode engendrar novas formas de organização e de comportamento.

A teoria geral dos sistemas trata das estruturas de sistemas, do modo como as estruturas determinam as transições entre estados do sistema e com a história do sistema. Uma teoria matemática dos sistemas ofereceria descrições da estrutura em linguagem abstrata. Uma tipologia de sistemas pode, portanto, ser uma tipologia matemática, pois dois sistemas são idênticos se seus modelos forem isomórficos e serão semelhantes na medida em que forem semelhantes seus modelos matemáticos (RAPOPORT, 1976).

Um sistema, do ponto de vista matemático, é uma parcela do universo que, em um dado tempo, pode ser descrita por valores específicos atribuídos a um conjunto de variáveis de estado. A totalidade destes valores constitui um estado do sistema. Uma teoria estática ou estrutural compreende a totalidade das asserções que relacionam os valores das variáveis quando o sistema está em um dado estado. Uma teoria dinâmica indica como mudanças em variáveis dependem dos valores ou de mudanças em outras variáveis, sendo composta da totalidade das asserções das quais pode ser deduzido o comportamento do sistema quando este muda de um estado para outro. Do ponto de vista lógico, uma relação ativa dentro do conjunto S das partes de um sistema é o subconjunto dos pares ordenados $(a, b) \in S^2$ em que vale uma proposição do tipo *afeta* ou *é afetado por* (RAPOPORT, 1976; MACIEL, 1974).

Um sistema possui superfície se houver elementos limítrofes, localizados nos extremos do sistema. Em uma representação gráfica, os elementos limítrofes ou só possuem entradas e convergências, os limites de saída, ou só possuem saídas e divergências, os limites de entrada. Os elementos não limítrofes são chamados de elementos interiores. Se os elos de realimentação partem e chegam apenas a elementos interiores, tem-se um sistema em malha aberta, com sub-sistemas interiores em malha fechada. Já quando os elos de realimentação partem e chegam a elementos limítrofes, tem-se um sistema em malha fechada. Como, por definição, um elemento limítrofe de entrada só pode possuir divergências e um elemento limítrofe de saída só pode possuir convergências, conclui-se que um sistema em malha fechada não possui elementos limítrofes e, portanto, não possui superfície (MACIEL, 1974).

Outras perspectivas acerca da teoria geral dos sistemas são encontradas na literatura.

Para Rapoport (1976), a teoria geral dos sistemas é uma perspectiva ou metodologia, sendo mais do que uma teoria, no sentido estrito com que a ciência usa o termo. Uma característica desta perspectiva ou metodologia seria a ênfase dada aos aspectos dos objetos em estudo derivados das propriedades gerais dos sistemas, mais do que seu conteúdo específico. Tais propriedades, e não os conteúdos dos objetos, seriam as responsáveis pela complexidade organizada e pela não-linearidade que caracteriza um sistema.

Para Checkland e Scholes (1999, pg. 22), Bertalanffy “cometeu um erro ao usar o termo sistema para a abstrata noção de todo que desenvolvia”. Segundo os autores, Bertalanffy também usa o termo sistema para descrever uma parte reconhecível e delimitável do mundo real, tal como um sistema de informação. Checkland e Scholes (1999) sugerem que a palavra sistema deveria ser destinada às partes delimitáveis fisicamente de um todo, sugerindo o uso da palavra *holon* para a noção abstrata de todo, originalmente endereçada por Bertalanffy.

Para Maciel (1974), o fundamento teórico da teoria geral dos sistemas repousa na lógica matemática e na filosofia da ciência. Os conceitos subjacentes à teoria levantam relevantes problemas filosóficos e científicos, tais como o todo e a organização, a simplicidade e a complexidade, a unidade e a multiplicidade, a ordem e a desordem, a entropia e a neguentropia, o controle e a informação. O autor associa à teoria diversos campos e teorias da ciência e da filosofia, tais como a lógica, a matemática, a filosofia da ciência, a cosmologia, a biologia molecular, a termodinâmica, a mecânica quântica, a engenharia de controle, a pesquisa operacional, a cibernética, a ciência da computação, as ciências sociais, as ciências administrativas, a teoria do controle, a teoria da informação, a teoria dos conjuntos e a teoria dos autômatos. Não haveria sentido, portanto, em se reduzir a teoria geral dos sistemas a uma única linguagem: a perspectiva mais adequada é a perspectiva multidisciplinar.

Para Rapoport (1976), a linguagem da matemática pode ser a linguagem da teoria geral dos sistemas, por ser vazia de conteúdo e por exprimir apenas as características estruturais e relacionais de uma situação de interesse. Para Bertalanffy (1977), modelos matemáticos apresentam algumas vantagens, tais como a ausência de ambigüidade, a possibilidade de dedução estrita e a possibilidade de verificação experimental. A esta lista acrescente-se ao menos a possibilidade de transferência de resultados entre ambientes de pesquisa.

Retomando a relação entre variáveis e estados de sistemas, as variáveis são objetos abstratos que tem um nome e podem assumir formas categóricas ou simbólicas. Um estado de sistema é definido pela informação necessária para caracterizá-lo e individualizá-lo completamente, chamando-se estas informações de variáveis de estado. A cada mudança

possível nas variáveis de estado corresponde uma transição entre estados, cujas probabilidades de ocorrência podem ser descritas por modelos probabilísticos (KLIR, 1991).

Apesar das vantagens da linguagem matemática, deve-se ter em mente suas limitações. A conclusão a respeito da semelhança entre dois sistemas é válida apenas na medida em que os correspondentes modelos matemáticos sejam representações suficientemente fiéis de seus comportamentos. Alguns sistemas de alta complexidade, tal como o cérebro humano, ainda desafiam toda tentativa de construção de modelos minimamente fiéis (RAPOPORT, 1976).

Acrescenta-se o problema da transitividade entre modelos: se o modelo A descreve suficientemente os sistemas X e Y, e o modelo B descreve suficientemente Y e Z, A e B só serão equivalentes se as imperfeições admitidas forem as mesmas em ambos os modelos.

A quantidade de informação usada para descrever um estado é relacionada à quantidade de conjecturas que se deve fazer para acessar o estado atual, dados todos os estados possíveis de um sistema. Modelos probabilísticos também podem ser aplicados às transições entre estados, proporcionando uma estrutura teórica intermediária entre a incerteza e a organização. Por outro lado, caso o objeto de estudos seja uma população de sistemas, tais como um parque de máquinas, no longo prazo as distribuições de probabilidades tornam-se distribuições de frequência, estabelecendo, de certo modo, uma organização na complexidade. O uso de modelos probabilísticos coloca à disposição da teoria dos sistemas todo o aparato conceitual da teoria dos processos estocásticos. Parâmetros de modelos, tais como valores esperados e dispersões, podem ser parâmetros estruturais de sistemas (KLIR, 1991; RAPOPORT, 1976).

2.1.2 Organização, complexidade e variedade

Organização, complexidade e variedade são conceitos influentes no comportamento de sistemas e que guardam entre si algumas similares que se deseja examinar.

A organização de um sistema pode ser centrada nas relações de causalidade, segundo as quais efeitos são manifestações observáveis de cadeias de causas, ou pode ser centrada nas noções de intencionalidade, adaptação e finalidade. Para Bertalanffy (1977), são características da organização de um sistema as noções de crescimento, diferenciação, hierarquia, dominância, controle e competição. É possível definir tais noções através de modelos, que também tornam possível deduzir das premissas gerais os casos individuais.

Modelos quantitativos usam equações diferenciais, enquanto que modelos qualitativos usam expressões verbais. A noção de crescimento, por exemplo, pode ser expressa pela lei de crescimento exponencial positivo, segundo a qual a taxa de variação é proporcional ao atual tamanho de um sistema, ou pela curva logística, que impõe uma limitação ao crescimento.

Gouldner (1972, apud THOMPSON, 1976) descreve uma organização segundo o modelo racional e o modelo natural. O modelo racional concebe uma organização como um instrumento deliberado, planejado e racional para alcançar um objetivo. Os componentes e a estrutura da organização são escolhidos segundo sua capacidade de contribuição para o atingimento dos objetivos e as ações de controle são previstas segundo relações de causalidade. Já o modelo natural concebe uma organização como um todo constituído por um conjunto de partes interdependentes em que cada parte contribui para o objetivo do todo e dele recebe uma retribuição, originada da relação do todo com o ambiente. Do modelo natural resultaria uma funcionalidade equilibrada que governaria as relações entre as partes, reagindo às perturbações e mantendo a sobrevivência por adaptação espontânea aos desvios.

Entende-se que organizações que sigam modelos explícitos, tais como a administração científica ou o modelo da burocracia, são concebidas mais como modelos racionais. Já organizações de adesão voluntária, tais como clubes e associações culturais, parecem ser concebidas mais como sistemas naturais.

Além da organização, também a complexidade caracteriza um sistema (RAPOPORT, 1976). Um *continuum* tipológico conteria em uma ponta sistemas simples, compostos por poucos elementos, fracas interações, governados por leis claras e bem-definidas, fechados ao meio-ambiente e estáticos no tempo. A outra ponta do *continuum* conteria sistemas complexos, compostos por muitos elementos, fortes interações mútuas, probabilísticos, abertos, dependentes do ambiente, que evoluem e se diferenciam ao longo do tempo e cujos sub-sistemas possuam objetivos próprios (JACKSON, 1993). Sistemas planetários estariam na primeira extremidade, enquanto que sistemas caóticos estariam na segunda extremidade. Sistemas produtivos baseados em organizações humanas estariam em posições intermediárias.

Sterman (2000) define complexidade como o número de componentes, variáveis ou estados que um sistema pode assumir ou o número de combinações entre variáveis que devam ser consideradas em um problema de decisão. Klir (1991) define complexidade como o número de variáveis, estados, partes, relações e interações ativas no sistema. Para Maximiano (1997), a complexidade indica o número de situações e variáveis com que uma organização pode se deparar ao longo de seus processos. Esta complexidade seria composta por aspectos

interdependentes: (i) nenhum problema é totalmente linear; (ii) não existe efeito que resulte de uma única causa; e (iii) quanto mais variáveis, mais causas e interdependências.

Rapoport (1976) define complexidade organizada como um conjunto de objetos ou eventos cuja descrição inclua variáveis com interferências mútuas de modo que um eventual sistema de equações que o descreva não possa ser reduzido ou resolvido parceladamente. Em uma complexidade organizada, a introdução de um elemento não apenas introduz relações dos elementos atuais com o novo elemento, mas modifica as relações vigentes no sistema.

Demo (2002) associa a complexidade à idéia de sistema adaptativo complexo, remetendo o tema ao conceito de caos estruturado. Tal conceito engloba dois aspectos do fenômeno sistêmico: (i) é caótico se incluir relações não-lineares e dinâmicas ambíguas ou ambivalentes; e (ii) é estruturado pois, mesmo em uma aparente desordem, sempre é possível localizar relações escondidas sob os aspectos mensuráveis dos processos, pois a natureza dos fenômenos não se mostra imediatamente.

Dentre as características da complexidade que Demo (2002) aponta, algumas são de interesse quando se estudam sistemas de organizações humanas. A complexidade é (i) dinâmica, na medida em que se apóia em campos de forças contrários; (ii) não-linear, já que efeitos e fenômenos totalmente novos surgem ao longo das faixas de excursão das variáveis principais; (iii) reconstrutiva, em oposição a ser reprodutiva, recorrente ou replicativa, pois a natureza sistêmica complexa nunca se repete; (iv) evolutiva, pois encerra em si mesmo a capacidade de aprendizagem; e (v) é ambígua e ambivalente, na medida em que uma estrutura complexa é, ao mesmo tempo, unitária, ao formar um todo, e aberta, pois cada componente também forma um todo que interage com outros todos segundo campos de forças.

Segundo Sterman (2000), uma complexidade dinâmica pode surgir, mesmo com poucos componentes e possibilidades de combinação, devido aos atrasos de tempo nos elos de realimentação. Tal atraso bloqueia o processo de aprendizado, cria instabilidade e gera comportamento errático. Ambigüidades e ambivalências se manifestam em tais situações, reduzindo a capacidade de um observador em discernir e separar as manifestações mensuráveis de um fenômeno das suas causas, pois há afastamento no tempo e no espaço. Geralmente, nestes casos, em experimentos controlados, é difícil manter constantes as variáveis não-controladas, de modo a isolar os efeitos que se deseja reconhecer.

Segundo Sterman (2000), a complexidade dinâmica surge porque sistemas são (i) dinâmicos: as escalas de tempo das transformações algumas vezes não são perceptíveis; (ii) fortemente acoplados: muitos dos atores interagem com intensidade entre si e com o ambiente; (iii) governados pela realimentação: sempre haverá respostas a estímulos, gerando

novos estímulos que, por sua, causarão novas respostas em evolução e transformação permanente; (iv) não-lineares: os efeitos geralmente não são proporcionais às causas; (v) auto-organizados e adaptativos: a estrutura interna e a capacidade de decisão se moldam aos requisitos ao longo do tempo, seja por seleção, seja por aprendizado; (vi) contra-intuitivos: como causas e efeitos podem estar afastados no tempo e no espaço, podem surgir relações que contradigam a lógica; e (vii) geradores de soluções de compromisso: mudanças radicais muitas vezes causam um recuo no resultado para, no longo prazo, apresentar um avanço, enquanto que mudanças superficiais apresentam avanços seguidos de recuos no longo prazo.

Ashby (1956, apud JACKSON, 1993) define variedade (*variety*) como o número de estados que um sistema pode assumir. A variedade pode ser uma medida da complexidade do sistema e depende da capacidade do observador em discernir entre os diferentes estados que o sistema assuma. Para Ashby (1956, apud JACKSON, 1993), o modo de se controlar um sistema é garantir que o sistema de controle possua maior variedade do que o ambiente. Por exemplo, se um sistema produtivo pode interromper sua produção por vinte modos de falha, o sistema de controle deve possuir alternativas de reparo para, no mínimo, estas vinte falhas. Do contrário, haverá uma probabilidade maior do que zero de perder-se o controle sobre o sistema. Algumas estratégias para atender a requisitos de variabilidade são apontadas por Beer (1984, apud JACKSON, 1993): (i) reduzir a variedade do ambiente através da padronização; (ii) aumentar a variedade do sistema através da aprendizagem; e (iii) uma combinação de ambas, em um processo de engenharia da variedade (*variety engineering*).

2.1.3 Estruturas de realimentação e cibernética

Segundo Ashby (1956, apud JACKSON, 1993), não se aborda um sistema de comportamento aleatório e complexo por análise reducionista, pois esta não faculta o estudo das relações entre as partes. Usa-se como esquema de controle a auto-regulação por realimentação negativa da informação de saída. O objetivo, diminuído da saída, gera um desvio usado para ajuste ou reorganização do sistema. Quatro elementos são requeridos para a auto-regulação: (i) um estado desejado para a saída, gerado fora do sistema; (ii) um sensor que gere informação sobre o estado atual da saída; (iii) um gerador de desvio; e (iv) um controlador que responda ao desvio e gere ações que conduzam a saída ao estado desejado.

A realimentação positiva não serve como auto-regulação: neste caso, a saída é somada à entrada, o que faz com que o erro cresça e estimule ainda mais o afastamento do objetivo.

Em alguns casos a realimentação negativa não é suficiente para o controle de processos. Pode ser necessário utilizar o chamado controle estratégico, ou pré-controle, que consiste de informações pré-alimentadas (*feedforward*) que prevejam um comportamento específico. O controle estratégico interpreta as informações antecipadas como uma função de evolução, ou seja, os objetivos da malha irão variar ao longo do tempo, segundo uma função projetada para o desempenho da variável de saída, podendo-se antecipar ações de controle.

Em sua forma canônica, uma malha fechada de realimentação negativa de primeira ordem é como na figura 4, apresentando um bloco de ações de controle na linha direta, um bloco de realimentação na linha reversa e um bloco de comparação entre o objetivo e a informação realimentada. As ações de controle são motivadas pelos desvios sinalizados pelo comparador e retiram energia do ambiente para as correções na saída. Quando os processos sob regulação apresentam retardos, estes devem ser considerados no controle, pois correção excessiva ou antecipada pode produzir oscilação na saída. Na figura é possível verificar que a saída $y(t)$, o efeito, é causada por $x(t)$ e por $r(t)$ e que $r(t)$, por sua vez, é um efeito de $y(t)$. Sendo assim, $y(t)$ é em parte causa de si mesmo (LHOTE; CHAZELET; DULMET, 1999).

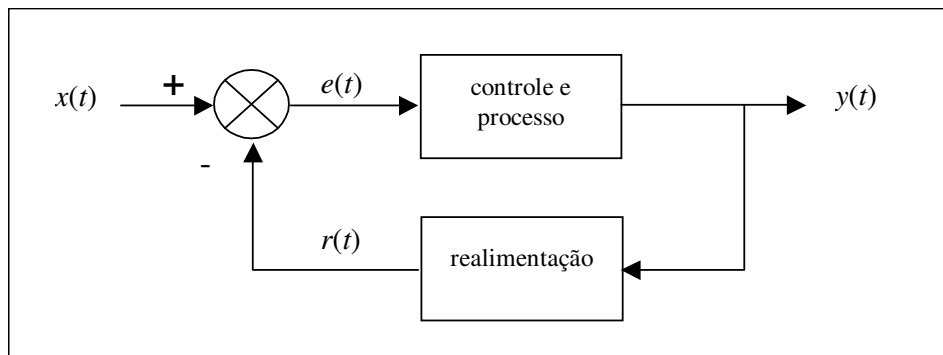


Figura 4: Esquema canônico da realimentação negativa

Fonte: elaborada pelo autor

A realimentação é um dos elementos de sustentação da cibernética.

Nos anos 1940, membros do grupo clássico da cibernética, composto por Wiener, von Neumann, McCulloch e outros, mostravam insatisfação com a dicotomia entre as ciências então ditas *hard*, como a física, e as ciências então ditas *soft*, como a psicologia. Enquanto aquelas desfrutavam de instrumentos matemáticos e de possibilidades de experimentação, estas empregavam uma linguagem qualitativa menos sujeita a testagens empíricas. O grupo

propôs uma abordagem interdisciplinar, cuja idéia central surge de analogias matemáticas observadas entre sistemas naturais e sistemas artificiais, estendendo a testagem empírica a um novo ambiente, distante dos processos energéticos e materiais até então empregados. Na base do novo método de pesquisa encontra-se uma epistemologia construtivista, que dialoga com a natureza através de construções teóricas criadas de modo liberal pela mente humana, mas que garantam uma conexão entre a teoria e o experimento, os modelos (LICATA, 2004).

Na figura 5 representa-se o método de pesquisa proposto. Dada uma situação de interesse, analisa-se e abstrai-se o problema, gerando uma representação simbólica apoiada nas chamadas variáveis *proxi*. Admitidas premissas simplificadoras, necessárias perante uma racionalidade limitada de modeladores, poucas variáveis passam a aglutinar os múltiplos aspectos de uma situação de interesse.

O simbolismo deve representar como o pesquisador vê a situação de interesse, podendo variar segundo suas crenças e as teorias usadas, ou seja, uma coisa é o sistema real, outra coisa é como o pesquisador vê o sistema. Realizam-se testes no modelo do mundo simbólico, usando os resultados, interpretados à luz da teoria, para fundamentar decisões no mundo real. O esforço despendido para a modelagem da situação de interesse contribui para o entendimento da própria situação, pois explicitam-se os elementos internos, suas interações e relações com o ambiente e identificam-se os resultados que se podem esperar do modelo.

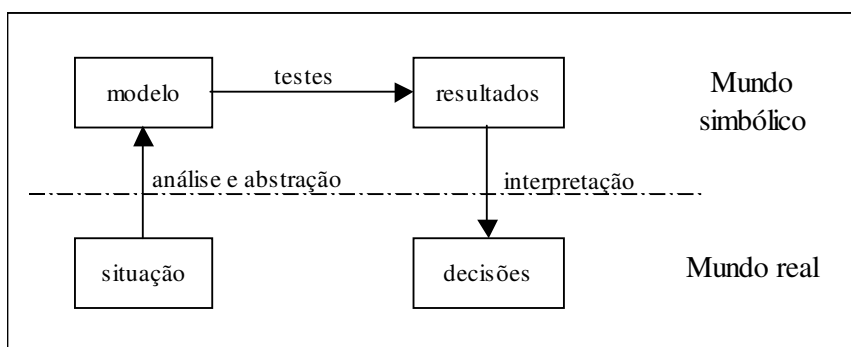


Figura 5: Modelos como representação de situações de interesse

Fonte: elaborada pelo autor

Descrições verbais e diagramas causais são usados por Senge (1990) para modelar comportamentos sistêmicos de modo qualitativo. O autor usa uma sistemática de quatro níveis de profundidade de percepção: (i) eventos físicos, tangíveis e monitoráveis; (ii) padrões de comportamento no tempo que, a partir do comportamento passado, monitorado no longo termo, lançam elementos para a previsão do comportamento futuro; (iii) estruturação

sistêmica da situação, que aponta os fatores que influenciam os padrões de comportamento e os eventos físicos; e (iv) modelos mentais, que são os motivos, crenças e valores subjacentes à estrutura que a justificam e explicam os padrões comportamentais. Senge (1990) apresenta arquétipos, diagramas causais padronizados, bastando ao modelador identificar que arquétipo mais se aproxima da situação em estudo para antever o comportamento esperado.

A palavra cibernética foi usada pela primeira vez por Norbert Wiener, nos anos 1940, ao propor uma ciência que deveria compreender os fenômenos naturais e artificiais através do estudo dos processos de comunicação e controle nos seres vivos, nas máquinas e nos processos sociais. A cibernética foi concebida como uma ciência interdisciplinar, pois, segundo Wiener (1948, apud JACKSON, 1993), deveria tratar da mesma forma, por leis generalistas, todo problema de controle, qualquer que fosse o tipo de sistema sob governança.

A palavra cibernética provém da palavra grega *kybernetes*, usada para descrever a capacidade humana de pilotar uma nave, levando-a até seu destino, apesar das incertezas da rota. Platão usou o termo em outro sentido, referindo-se à condução de uma organização humana, o estado. Ambos os usos relacionam o termo aos conceitos de comunicação e de controle. Da palavra grega derivou-se a palavra latina *gubernator*, que originou termos contemporâneos ligados à noção de governança e controle, tanto em sistemas técnicos, tais como servomecanismos, como em processos políticos e sociais (CHIAVENATO, 1993).

Para Anohin (1976), a cibernética propõe uma arquitetura de funcionamento de fenômenos, compreendendo um mecanismo de governo, um objeto a governar e um elo de realimentação, que informa ao mecanismo de governo o resultado das suas decisões. Segundo as idéias centrais da cibernética, um sistema deve (MAXIMIANO, 1997): (i) perseguir um objetivo; (ii) receber continuamente informações acerca do seu próprio comportamento e do comportamento do objetivo; e (iii) ter governo sobre seu próprio comportamento.

A noção de realimentação negativa mostrou-se crucial para o entendimento da ação de governo, pois ofereceu uma explicação científica para comportamentos cuja motivação seja o atingimento de uma meta. Para Borenstein (2002), a informação sobre a diferença entre a situação atual e a situação desejada exerce papel agregador, pois diminui os efeitos indesejáveis da entropia, tais como a desestabilização e a deterioração dos sistemas.

Bertalanffy (1976) aponta uma diferença entre a cibernética canônica e a teoria dos sistemas gerais: enquanto aquela trata de mecanismos de realimentação linear, monovariável e unidirecional, estes regulam-se por interações multivariáveis e múltiplos modos de controle. As regulações cibernéticas ocorreriam segundo estruturas fixas e conhecidas, abertas em relação à informação e fechadas em relação à energia e à matéria, ao passo que as regulações

sistêmicas ocorreriam segundo interações dinâmicas. A regulação cibernética conduziria a um estado homeostático, de equilíbrio no tempo, sendo um princípio sincrônico. Já a regulação multivariável seria um princípio desenvolvimentista diacrônico, pois conduziria a resposta de um sistema em uma trajetória evolutiva de organização e diferenciação crescente.

2.1.4 Cibernética gerencial e cibernética organizacional

Nos anos 1960 dois nomes contribuíram para a entrada da cibernética no campo das ciências do gerenciamento: Stafford Beer e Jay Forrester.

Beer foi o precursor desta integração ao definir o gerenciamento como a ciência e a profissão do controle e sugerir outra definição para a cibernética: a ciência da organização efetiva. Dentre as contribuições de Beer, tem-se um modelo genérico para a diagnose de falhas em sistemas existentes ou para o projeto de um novo sistema organizacional cibernético, o *VSM*, *Viable System Model*. Contemporaneamente a Beer, Forrester propôs a dinâmica dos sistemas, cujo objetivo é explicar o comportamento de um todo através de processos de realimentação que o permeiem. Usando a dinâmica de sistemas, um decisor pode propor um modelo e experimentar hipóteses, verificando seu efeito no comportamento geral do sistema, geralmente com o apoio de meios computacionais (JACKSON, 1993).

Checkland e Scholes (1999) dividem as abordagens para o tratamento sistêmico de uma situação de interesse em abordagens duras (*hard*), mais baseadas em técnicas exatas e quantitativas, e abordagens suaves (*soft*), mais baseadas em interpretações subjetivas da realidade. A abordagem dura considera o objeto em estudo como um sistema, enquanto que a abordagem suave considera que o processo de investigação é que é sistêmico e adaptável às circunstâncias de intervenção. Clemson (1984, apud JACKSON, 1993) diferencia uma cibernética de primeira ordem, que trata de materiais e energia, de uma cibernética de segunda ordem, que trata de subjetividades e ambigüidades. Tais idéias geraram dois tipos de modelos de ação sistêmica em uma organização, a cibernética gerencial e a cibernética organizacional.

A cibernética gerencial parte do pensamento sistêmico duro, tentando descrever organizações humanas segundo os mesmos princípios construtivos observados em máquinas, principalmente através do esquema entrada-processamento-saída. Os objetivos da organização são determinados fora do sistema e serão alcançados segundo um ciclo realimentado de

medição de resultados e ações de governo, que compensem as variabilidades do trajeto. Para Jackson (1993), a cibernética gerencial pode ter dificuldades ao tratar com a subjetividade, ambigüidade e ambivalência observadas em organizações humanas complexas.

A cibernética organizacional, por outro lado, procura explorar as subjetividades, ambigüidades e ambivalências presentes em uma situação de interesse. O *VSM* de Beer pode ser associado à cibernética organizacional, pois permite que princípios cibernéticos sejam empregados em uma organização sem que princípios mecânicos sejam mencionados. O *VSM* e a cibernética organizacional incluíram as figuras do observador e do sistema de observação na abordagem. Com isto, possíveis influências mútuas entre observador e observado e possíveis subjetividades e ambigüidades no sistema de observação passaram a influenciar os resultados do sistema. O *VSM* é um conjunto de técnicas para a análise situacional e modelagem de uma organização, cujo objetivo final é chegar a recomendações de intervenção que possam resolver um problema já caracterizado, melhorar o modo como são atingidos os objetivos da organização ou, ao menos, servir como guia para o entendimento das linhas de influência e dos campos de força que suportam os atuais resultados (JACKSON, 1993).

Finalizando, para Beer (1984, apud JACKSON, 1993), um sistema só será viável se for capaz de responder a mudanças ambientais que não tenham sido previstas em sua concepção, possuindo um requisito de variabilidade maior do que a variabilidade do ambiente: a velocidade na detecção e na adaptação deve ser maior do que a velocidade das variações.

2.1.5 Organizações produtivas como sistemas

Estudiosos de diversos campos de conhecimento interessaram-se em aplicar as premissas e os pressupostos da teoria geral dos sistemas a seus objetos de estudo. Um destes desenvolvimentos teóricos diz respeito às organizações humanas planejadas para perseguir um objetivo de negócios, as empresas. Uma empresa mantém similaridades com os pressupostos básicos da teoria dos sistemas, pois há dependências mútuas entre as variáveis, há objetivos, há interação com o meio-ambiente através da extração de recursos, informações e energia e da destinação de produtos e resíduos e há uma lógica de controle.

Para Ansoff (1977), uma empresa é uma organização social com finalidades próprias e cujo comportamento se orienta para a definição e busca de objetivos identificáveis. Para Daft

(1999), organizações empresariais são entidades sociais interligadas ao ambiente e estruturadas como sistemas que perseguem objetivos. São os objetivos que estimulam as ações de controle e a medição dos resultados obtidos nas operações.

Katz e Kahn (1970) classificam as organizações segundo a função que exerçam como sub-sistema da sociedade. Segundo os autores, uma organização pode ser: (i) econômica ou produtiva, se sua função se relaciona à produção e ao fornecimento de bens e serviços, tais como a manufatura; (ii) de manutenção, se sua função se relaciona à preparação para atuar em outras organizações, tais como escolas e hospitais; (iii) adaptativas, se sua função é criar conhecimentos que permitam que outras organizações se adaptem para sobreviver, tais como universidades e instituições de pesquisa; e (iv) político-administrativas, se sua função é regular e coordenar as relações entre organizações e meios públicos, tais como o poder público ou agências reguladoras de serviços. Entende-se que organizações possam operar papéis múltiplos, tal como uma manufatura que desenvolve tecnologia ou educa seu pessoal.

A princípio, a escola clássica da administração empregou o conceito de sistema fechado para caracterizar as organizações, pois argüia que um bom ajuste entre as partes garantiria o funcionamento da organização, como uma máquina. Surge a noção de organizações como sistemas hierárquicos, que se integram a sistemas cada vez mais amplos e, em seqüência, a noção de organizações como sistemas abertos, que interagem com o meio. Segundo estas noções, as propriedades das partes menores são explicadas a partir das propriedades das partes maiores, que por sua vez são explicadas a partir das propriedades do todo. As organizações seriam parte de um sistema mais amplo, o sistema social, e seriam explicadas a partir da compreensão maior da sociedade, em uma estrutura organicista (MORGAN, 1996).

Autores discutiram organizações como sistemas abertos.

Segundo Wiendahl (1989), a modelagem de organizações segundo a perspectiva de sistema aberto exige certas regras: (i) uma organização possui elementos e ligações, que governam as relações entre os elementos; (ii) uma organização é divisível em sub-sistemas de menor ordem; (iii) conjuntos de elementos pertencentes a estruturas diferentes de uma mesma organização podem ser considerados como sub-sistemas ou organizações parciais; e (iv) todo elemento, sub-sistema ou sistema é delimitável por fronteiras organizacionais que demarcam as entradas, saídas e funções. Sistemas produtivos são abertos, pois, se afetados por forças externas, usam forças internas para recompor o equilíbrio dinâmico.

Katz e Kahn (1970) resumem os pressupostos que permitem a descrição de uma organização como um sistema aberto: (i) a organização importa energia, insumos, materiais e mão-de-obra do meio-ambiente e exporta produtos e resíduos; (ii) a organização processa os

insumos importados e os transforma em produtos acabados; (iii) a energia colocada no ambiente retorna sob a forma de novos insumos, informação e aprendizagem a cada ciclo de realimentação; (iv) a organização extrai energia do ambiente, resiste à degradação, adapta-se às modificações ambientais e diferencia-se, atingindo novos estados estáveis, em uma manifestação de entropia negativa e homeostase dinâmica; e (v) há a equifinalidade, pois várias trajetórias conduzem ao mesmo objetivo final, o estado estável.

Características dos sistemas abertos são reconhecíveis em sistemas produtivos.

Um sistema aberto troca materiais, energia e informação com o meio-ambiente, usados na transformação de outros materiais, energia e informação, segundo o objetivo do sistema. Os sistemas abertos podem eventualmente atingir um estado estável e independente do tempo, capaz de manter processos irreversíveis, com características de auto-regulação que permitam atingir o mesmo estado final, quaisquer que tenham sido as condições iniciais e a perturbação. Os sistemas abertos conservam-se em estados de alta ordem, organização e improbabilidade, aparentemente contradizendo a segunda lei da termodinâmica, que enuncia que a tendência dos processos físicos é seguir o rumo de estados mais prováveis e de desorganização crescente, ou seja, estados mais entrópicos. No entanto, por suportar trocas com o ambiente, os sistemas abertos não apenas se mantêm em estados improváveis, como também aumentam sua diferenciação e organização, como se requisitassem uma entropia negativa do ambiente (BERTALANFFY, 1977; PRIGOGINE, 1976, apud BERTALANFFY, 1977).

As capacidades de atingir e manter um estado estável, de manter a alta ordem e de obter uma diferenciação são observáveis em um caso particular de sistemas produtivos, os sistemas de manufatura. Nestes sistemas, as entradas de materiais, informação e energia são empregadas para a construção da saída: um produto acabado e a informação que permitirá seu uso. O estado estável é observado quando o sistema eventualmente atinge um equilíbrio entre entradas e saídas de materiais, pela aplicação de técnicas de controle de produção que sejam baseadas na liberação de ordens de fabricação ou na transferência interna de materiais. Como um sistema aberto, a retomada do equilíbrio, dentro de certas faixas da perturbação, depende de parâmetros internos da manufatura, tais como a velocidade de recomposição do projeto de seu produto ou da capacidade produtiva. Situações transitórias, tais como a ultrapassagem ou a aproximação assintótica, são observadas quando as perturbações de mercado são mais intensas do que a capacidade de reação da manufatura. A conservação da alta ordem é observável se um sistema de manufatura reequipa sua maquinaria através de reformas ou de aquisições e requalifica seus recursos humanos. Finalmente, como em um sistema aberto, é possível à manufatura atingir um estado de diferenciação ou organização crescente, mediante

a importação dos recursos materiais e humanos postos à disposição pelo meio. Esta importação é responsável pela reposição de elementos desgastados pelo aumento da entropia inerente à produção e também por uma reposição qualificadora, em que uma máquina ou componente é substituído por outro de mesma função, porém de concepção mais avançada, resultando uma diferenciação no resultado da operação.

Outros enfoques ligando organizações e sistemas foram propostos na literatura.

Trist (1965, apud MOTTA; VASCONCELOS, 2002), da escola sócio-técnica, apontou dois sub-sistemas em organizações, o sub-sistema técnico, que atende as exigências ligadas à tecnologia e determinam o potencial para atingir os objetivos, e o sub-sistema social, que atende as exigências de relações entre os atores e transformam o potencial em capacidade real.

Parsons (1976, apud MOTTA; VASCONCELOS, 2002), da escola funcionalista, aponta quatro funções organizacionais que garantem a sobrevivência do sistema: (i) a adaptação, referindo-se à busca de recursos no ambiente a fim de usar nas modificações necessárias para a sobrevivência; (ii) a geração e atingimento dos objetivos, referindo-se à racionalidade instrumental que, segundo os meios existentes, define e atinge objetivos; (iii) a integração, que garante o alinhamento, a comunicação e a troca de informações entre as partes; e (iv) a latência ou manutenção, que garante a socialização e a transmissão dos valores e dos padrões culturais predominantes no sistema organizacional. Para Trahair (1998, apud MOTTA; VASCONCELOS, 2002), a capacidade adaptativa da organização pode ser prejudicada pela padronização exigida no sub-sistema técnico, pois esta padronização de habilidades pode, em certas circunstâncias, bloquear o aprendizado. Neste caso, o sub-sistema social deve introduzir uma certa ambivalência nas atividades e uma certa ambigüidade na cultura.

Jackson (1993) apresenta o enfoque contingencial identificando quatro sub-sistemas: (i) sub-sistema de objetivos, que escolhe os objetivos da organização segundo a variabilidade do meio ambiente, oscilando entre metas estáticas de longo prazo e metas flexíveis e múltiplas, sujeitas a restrições variáveis; (ii) o sub-sistema humano, que trata das necessidades de desenvolvimento e auto-realização de indivíduos e grupos; (iii) o sub-sistema técnico, que trata da tecnologia de operação e de processo, oscilando entre estruturas de trabalho intensivas e estruturas baseadas em conhecimento; e (iv) o sub-sistema gerencial, que coordena os diversos sub-sistemas para alcançar as metas globais da organização.

Jackson (1993) aponta quatro hipóteses sobre as quais se fundamenta o enfoque contingencial: (i) não há um meio único nem melhor de se estruturarem atividades em organizações; (ii) o que determina o melhor meio de se estruturar uma atividade são os fatores contextuais, as contingências, principalmente devido às restrições às operações; (iii) segundo

as circunstâncias, algumas estruturas, princípios e teorias têm mais probabilidade de sucesso do que outras; e (iv) investigações empíricas devem estabelecer a melhor combinação entre a estrutura organizacional e os requisitos de sobrevivência da organização. Circunstâncias ambientais diferentes exigem estruturas diferentes para que se alcancem e se sustentem níveis satisfatórios de desempenho: quanto maior a incerteza e a turbulência ambiental, mais fluidos e adaptativos devem ser os papéis internos da organização.

Burns e Stalker (1961, apud JACKSON, 1993) argumentam que mercados estáveis favorecem estruturas mecanicistas e centralizadas, valendo-se de ganhos de escala. Já mercados sujeitos a rápidas transformações favorecem estruturas organicistas, mais flexíveis e mais adaptáveis às variações. Os autores enumeraram características das duas estruturas. Estruturas mecanicistas exibiram especialização, tarefas internas independentes, regras estritas e formais, descrições de tarefas definidas e delimitadas e comunicação hierarquizada de cima para baixo. Estruturas organicistas exibiram fraca delimitação, redefinição permanente de tarefas, grande interdependência entre tarefas, comunicação horizontal e vertical em igualdade de importância e descentralização decisória.

Resta ainda relacionar organizações produtivas com a cibernética dos sistemas abertos. A base do enfoque cibernético é o elo de realimentação. Por meio da informação, uma amostra do universo de saída do sistema é remetida ao centro de decisão, que, por comparação com o objetivo, estimula as funções de controle a moverem-se e perseguir os objetivos. No modelo cibernético, a informação faz o papel da entropia negativa, auto-regulando o sistema, quer na direção de um estado desejado, quer na direção de uma meta evolutiva.

Galbraith (1977) apresenta a organização como um sistema processador das informações necessárias para tratar com as incertezas, as diversidades e as flutuações de seus próprios objetivos e das circunstâncias do ambiente. Quanto maior a incerteza, maior a quantidade de informação requerida para o processo decisório.

Morgan (1996) conecta o enfoque cibernético ao enfoque contingencial ao propor uma metáfora: a organização vista como um cérebro humano que se abastece de informações acerca das incertezas e diversidades observadas nos processos para a tomada de decisão. A organização seria um ente dotado da função aprendizagem, que se valeria das informações coletadas, processadas e armazenadas para uso futuro. A aprendizagem seria uma função ativa que selecionaria e processaria as informações requeridas, não apenas para a adaptação, mas também para a evolução e diferenciação, ao contrário da função passiva desempenhada pela mera adaptação ao meio, preconizada pelo enfoque contingencial.

Argyris (1993) define dois tipos de aprendizagem, em malha simples (*single loop*), baseada na detecção do erro e na correção segundo uma curva de aprendizado, e em malha dupla, baseada no questionamento e redesenho do sistema, desenvolvendo e explorando a função adaptativa. Sendo assim, uma organização produtiva se conserva e evolui, ao aumentar a entropia, pela troca de sub-sistemas e componentes: máquinas são reformadas ou substituídas, processos são aperfeiçoados, pessoas são treinadas, recicladas ou substituídas.

Finalizando, depreendem-se características relevantes do enfoque cibernético: (i) a auto-regulação baseia-se em arranjo pré-estabelecido, o servomecanismo, em uma natureza firme e mecânica, diferindo das regulações dinâmicas e sob múltiplos modos que ocorrem nos sistemas abertos; (ii) as relações causais são delimitadas e circulares, guardando entre si relações do tipo estímulo-resposta (por exemplo, aumenta-se a velocidade de um motor de corrente contínua reduzindo-se a excitação de campo, o que exige mais corrente de armadura para oferecer o mesmo torque requerido pela carga, agora em nova velocidade); e (iii) sempre é possível reconhecer estruturas de realimentação de informações em um sistema cibernético. Com base nas considerações, parte-se para reconhecer e identificar os elementos dos quais um modelo cibernético em manufatura lançaria mão.

2.1.6 Manufatura como sistema: o enfoque cibernético

Os elementos sustentadores do enfoque cibernético são a comunicação e o controle. Em uma organização de manufatura, o controle inclui os objetivos, as estratégias para alcançá-los e as ações de governo sobre a execução da estratégia. O processo de comunicação inclui a codificação, armazenagem, transmissão e decodificação da informação, sendo sujeito a ruídos, que podem resultar em erros de conteúdo. A comunicação, portanto, se apóia no sistema de informações, mas comunicação e informação não são sinônimos.

Para Perrow (1972), as organizações são criadas para cumprir objetivos, algumas vezes conflitantes entre si. Mesmo quando há consenso sobre os objetivos, pode não haver consenso ou clareza quanto à importância relativa dos mesmos. Acionistas, consumidores e colaboradores podem concordar que o aumento da produtividade, o aumento da qualidade, o aumento da rapidez nas entregas e a melhoria das condições de trabalho sejam objetivos relevantes para a manufatura. É possível, no entanto, que cada público atribua uma

importância diferente para cada objetivo. Perrow (1972) conclui que os objetivos de uma organização, além de múltiplos e conflituosos, podem ter importâncias distintas.

Ansoff (1977) fala em uma “teoria de interessados”, segundo a qual os objetivos de uma organização seguiriam regras implícitas que devem atender a interesses contraditórios entre diversos grupos de interessados. Uma tal teoria sustenta a noção de que os objetivos da empresa resultam de um equilíbrio entre exigências conflitantes originadas de grupos de interessados, tais como acionistas, administradores, colaboradores, cadeias de fornecimento e distribuição, sindicatos, associações de classe e poder público. O conjunto de objetivos não deveria insatisfazer a nenhum dos grupos, procurando atender a cada um deles na medida em que não desagrade outros, segundo uma teoria a desenvolver para cada caso particular. Objetivos sociais influenciariam, através da imposição de restrições, o comportamento da organização na busca de seus objetivos econômicos.

Bethlem (1998) considera que uma organização produtiva tem dois tipos de objetivos conflitantes entre si: objetivos de estabilidade e previsibilidade e objetivos de crescimento e inovação. Os objetivos de estabilidade seriam sustentados pelas noções de sobrevivência e prestígio no cumprimento da missão. Objetivos de crescimento seriam sustentados pelas noções de aumento da lucratividade e diferenciação no cumprimento da missão.

Propõe-se que haja ao menos quatro categorias de objetivos: (i) objetivos de clientes, ligados à importância e utilidade no cumprimento da missão; (ii) objetivos dos *stakeholders*, ligados à manutenção, estabilidade, crescimento e diferenciação da organização; (iii) objetivos de produção, ligados à qualidade, quantidade, confiabilidade e serviços associados ao produto; e (iv) objetivos de inserção social, ligados a como a organização emprega seus meios e os recursos obtidos no cumprimento dos outros objetivos. Objetivos de produção podem ser divididos em objetivos genéricos de competitividade, válidos sob certas limitações para toda uma indústria por um certo espaço de tempo e objetivos específicos, gerados principalmente através de um processo de planejamento estratégico, válidos sob estritas circunstâncias e por um período determinado de tempo.

Objetivos e estratégia se relacionam. Os objetivos são os fins que uma organização persegue, enquanto que as estratégias são os meios para atingí-los. Uma estratégia válida para certos objetivos pode perder a validade quando estes mudam (ANSOFF, 1991).

Para Slack et al. (1997), estratégia é um padrão global de decisões e ações que reorganizam os recursos financeiros, materiais e humanos disponíveis, posicionando a organização em relação ao seu ambiente e tendo por finalidade fazê-la atingir seus objetivos. Para Ansoff (1977), estratégias são regras de decisão que orientam o comportamento e

habilitam a organização a perseguir e medir seus avanços na busca de seus objetivos. Para Arantes (1998), estratégias são planos que definem os caminhos ou ações traçadas para a consecução de um resultado. Sendo circunstanciais, as estratégias têm caráter temporário. Para Pereira e Santos (2001), estratégia é o programa geral para a consecução dos objetivos de uma organização e, portanto, para o desempenho de sua missão. Os autores também definem estratégia como o padrão de resposta de uma organização ao seu ambiente ao longo do tempo, materializada através da organização dos recursos internos e sua associação ao ambiente externo, com o objetivo de aproveitar oportunidade e enfrentar riscos. Para os organizadores do prêmio Shingo de excelência na manufatura (SHINGO PRIZE, 2004), estratégias são os meios, os processos e as metodologias que uma organização emprega para cumprir seus planos de trabalho e atingir suas metas de manufatura. Já o desdobramento da estratégia se refere às ações que a organização toma para executar a estratégia proposta. Para Porter (1998), uma estratégia competitiva é uma fórmula ampla que descreve o modo como uma organização compete, quais são suas metas e com que práticas serão alcançadas.

A formulação de estratégias deve resultar em projetos ou cursos de ação. O gerenciamento estratégico é o processo contínuo e realimentado de ativação e desativação dos projetos para alcançar e manter os objetivos estratégicos (CERTO; PETER, 1993).

O ciclo de gerenciamento estratégico se fecha nas ações de governo, o controle estratégico. Segundo Gomes (1997), o controle estratégico usa instrumentos e promove ações de manutenção e melhoria de posições competitivas já conquistadas. Segundo Daft (1999), o controle estratégico é a avaliação geral do plano estratégico e dos seus resultados, extraindo-se informação para a eventual correção dos planos. Para Vasconcellos Filho (1982), o controle estratégico deve ser exercido imediatamente, mesmo antes de se conhecerem os resultados de uma estratégia, medindo as entradas e antecipando as alterações na saída.

O controle estratégico difere do controle de produção operacional da manufatura. O controle de produção é a coordenação de atividades de manufatura visando a atender o requisito de entrega do cliente no menor custo possível e com qualidade satisfatória, através do emprego da capacidade disponível. Há ao menos duas possibilidades: controle da demanda, que regula o ritmo de chegada de ordens, e controle de recursos, que regula a capacidade operacional e o ritmo de chegada de materiais (STEKELENBORG; KORNELIUS, 1994). O controle de produção pode ser exercido em nível operacional, no qual se controlam as ordens individuais de fabricação, e em nível de planejamento, no qual se controla o desempenho médio do conjunto das ordens. Para Wiendahl e Breithaupt (1999), as

decisões em nível de planejamento, geralmente têm maior impacto e são suficientes para que se atinjam os objetivos de produção.

Passa-se à comunicação no enfoque cibernético. Comunicação e informação não são equivalentes, havendo considerações de ruído e perda de fidedignidade na transmissão da informação. Para esta revisão interessa apenas considerar que a informação seja sustentada nas organizações de manufatura por sistemas de informação.

Para Laudon e Laudon (2004), um sistema de informação é um conjunto de componentes inter-relacionados que coleta, recupera, processa, armazena, disponibiliza e distribui informações ao longo de uma organização, com o objetivo de informar a situação e eventualmente servir como base de apoio a decisões de controle. Para O'Brien (2002), um sistema de informação é um conjunto organizado de pessoas, equipamentos, instruções de processamento, canais e redes de comunicação e recursos de dados que coleta, transforma, armazena e dissemina informações ao longo de uma organização.

A informação, de *per se*, não produz resultado: este só surge após o uso da informação como suporte a decisões de controle. Os sistemas de informação também podem ser usados no suporte ao aprendizado, já que fornecem bases de dados históricas e montam estruturas relacionais entre fenômenos, que permitem testes de hipóteses sobre estruturas de problemas. Em um sistema de informações é importante distinguir dados de informações. Dados são conjuntos de símbolos que representam fatos brutos. Já a informação representa a organização conferida aos dados, tornando-os úteis em análises e decisões (LAUDON; LAUDON, 2004).

Três atividades caracterizam os sistemas de informação: (i) a entrada de dados de processos, que pode ser automática, via sensores, ou manual; (ii) o processamento dos dados, que converte os símbolos adquiridos no formato requerido para armazenagem e recuperação; e (iii) saída de informações, segundo os requisitos de usuários. A saída pode se destinar à interpretação e análise, os sistemas de informação gerenciais, ou pode surgir sob a forma de apoio à decisão. Neste último caso, por regras e lógicas internas, a informação tem a forma de uma decisão preliminar, que será ou não ratificada pelo requisitante.

Exemplos deste tipo de sistema são os sistemas de programação fina de produção, que sugerem alternativas de decisão a ratificar ou reter pelo usuário. Outros exemplos são os sistemas baseados em inteligência artificial, que emulam procedimentos adotados por especialistas humanos, tais como os sistemas operadores de plantas industriais de alta complexidade e baixa modelabilidade, como ocorre nos processos químicos de fabricação. Neste caso, a saída do sistema assume a responsabilidade sobre a decisão, informando a mesma a um eventual operador humano (SELLITTO, 2002).

Sistemas de informação podem ser isolados, cumprindo objetivos locais, podem ser locais e integrados por via informatizada ou podem ser totalmente integrados. Tal formato surge nos *ERP* (*Enterprise Resources Planning*), sistemas integrados de gestão empresarial, sucessores dos sistemas que implementavam principalmente as técnicas de *MRP* e *MRP II*, voltadas ao planejamento da fabricação, suprimentos e demais recursos produtivos. Ao longo do tempo incorporaram-se a estes sistemas outras funcionalidades, tais como atividades administrativas, comerciais e de projetos de produtos.

Um *ERP* troca informações entre atividades como fabricação, suprimentos, distribuição, administração e finanças, através de um banco de dados em plataforma unificada, interagindo com um conjunto integrado de aplicações, o que consolida as operações da organização em um único ambiente computacional. Davenport (1998) classifica as funcionalidades dos *ERP* em: (i) funções de retaguarda: fabricação, recursos humanos e finanças; (ii) funções de frente: vendas, assistência técnica e serviços; (iii) funções de tecnologia: desenvolvimento e projetos; e (iv) funções da cadeia de suprimentos. Um *ERP* possibilita aos interessados o acesso às medições, obtendo-se, a partir da integração, a confiabilidade e consistência necessária nos dados e no cálculo dos indicadores. Entende-se que um *ERP* possa ser o elemento que executa a função de comunicação em um eventual enfoque cibernético da manufatura.

Finaliza-se esta parte da revisão apresentando o enfoque de Bethlem (1998) para uma organização descrita sob o enfoque cibernético. Para o autor, se uma organização deseja conduzir ações que a levem aos seus objetivos, deve ser capaz de analisar continuamente como avançam estas ações, obtendo informações na velocidade necessária para saber como estão seus recursos e como estão as variáveis ambientais. Um órgão centralizador de informações deve, continuamente, comparar as informações recebidas com os parâmetros pré-estabelecidos para as ações e retornar instruções de como prosseguir ao terreno de ação.

2.2 Estruturação e medições em objetos de estudo

Até agora enfocou-se a teoria geral dos sistemas e aspectos específicos aplicados a sistemas de manufatura. A seguir enfoca-se a estruturação de objetos que deverão ser medidos em procedimentos de pesquisa, tais como os elementos presentes em sistemas de manufatura.

O mundo real é experienciado por decisores através de filtros físicos e lógicos. É difícil conhecer, com precisão e em tempo real, grandezas aleatórias, tais como os principais fluxos e acúmulos de uma organização. O ato de medir uma grandeza pode introduzir distorções, atrasos, enviesamentos, erros e outras imperfeições, geradas por pressupostos inválidos assumidos no planejamento da medição. O ato de medir inclui o ato de especificar o método de medição, pois os sensores e os sistemas de informação acessam apenas uma fração da realidade, que pode ser física, limitada pela tecnologia, ou lógica, quando se usam amostras para inferir parâmetros de medição. Resulta que a tomada de decisões pode ocorrer com base em informações incompletas ou imperfeitas (STERMAN, 2000).

Muitas vezes se deseja medir uma grandeza intangível, sem representação manifesta na natureza. Lança-se mão de modelos mentais para esta representação, que, porém, são restringidos por crenças e pré-conceitos de decisores. São as crenças que permitem que se vejam as grandezas e é a visão que permite que se creia, em uma circularidade reforçadora. Para Wieck (1993, apud SHANK; GOVINDARAJAN, 1995), é preciso crer para ver.

Segundo Sellitto e Ribeiro (2004), a discussão sobre grandezas intangíveis tem sido tema recorrente em pesquisas. Como o acesso a estas grandezas não é unívoco, o pesquisador deve identificar os conceitos a elas subjacentes, chegando a grandezas de mensuração direta. A contabilidade tem se referido a algumas destas grandezas como ativos intangíveis. Sellitto e Ribeiro (2004) chamam tais grandezas de conceitos intangíveis. Para os autores, a estratégia de uma organização é um conceito intangível e, para ser medida, deverá passar por uma lógica de identificação da influência de fatores, em um processo de estruturação, que a desdobrará em conceitos e influências subjacentes, até que se chegue a grandezas mensuráveis diretamente na natureza, ou ao menos, avaliáveis por outros métodos.

É desejável a utilização de uma teoria que organize e consista as informações e os conhecimentos existentes acerca de um objeto, principalmente se for intangível. Entende-se que a teoria das mensurações (*measurement theory*) possa cumprir este papel e que possa ser útil em medições de conceitos intangíveis, tais como as estratégias empresariais. Segundo French (1986), a teoria das mensurações é um campo de conhecimentos sediado em algum lugar entre a matemática e a filosofia da ciência, que trata de modelos numéricos capazes de traduzir descrições qualitativas de um objeto sob observação.

Ao descrever objetos, um observador usa relações qualitativas tais como: o objeto A é mais pesado ou mais quente do que o objeto B. Para tornar a descrição mais precisa, associam-se aos objetos medições quantitativas, tais como o peso e a temperatura, obtendo-se uma representação numérica tal que a magnitude relativa dos números descreva as relações

entre os objetos. Se um sistema em estudo envolver objetos intangíveis, tais como crenças e preferências de decisores, a representação numérica se constituirá em uma estrutura de crenças ou preferências de indivíduos sobre o sistema.

A teoria das mensurações trata com representações quantitativas de relações qualitativas entre objetos, tais como *semelhante* ou *diferente*. Um axioma da teoria diz que os números a usar na representação podem ser escolhidos de modo arbitrário, desde que haja uma relação racional que permita operações aritméticas dentro da estrutura de preferências: segundo French (1986), sempre é possível representar numericamente uma relação qualitativa que expresse uma estrutura de preferências consistente.

A teoria das mensurações busca na filosofia da ciência técnicas de investigação sobre causalidade entre objetos e antecedentes. Também busca, desta vez na matemática, a lógica relacional, a teoria das decisões e a teoria da utilidade. Nas próximas seções discutem-se temas originados na filosofia e na metodologia da ciência e na matemática da racionalidade, conectados com a teoria das mensurações e necessários para o objetivo desta tese.

2.2.1 A causação e as relações de causalidade em objetos de estudo

A causação é um tema recorrente na filosofia da ciência. Uma das definições de ciência afirma que esta é o conjunto de conhecimentos organizados, alcançados após a investigação das relações causa-efeito apresentadas pelos fenômenos de interesse. Os cientistas não se limitam a descrever os fatos, mas tentam encontrar suas causas, suas relações internas e suas relações com outros fatos. A motivação da ciência é a vontade de compreender a cadeia de relações por trás das aparências sensíveis, descobrindo os princípios que explicam, organizam, classificam e ordenam os objetos (SOUZA FILHO, 2000; KÖCHE, 2003).

Na Grécia antiga, até o século VII AC, vigorava uma concepção mitológica da natureza, segundo a qual o ordenamento dos fenômenos era caótico, desencadeado pela vontade aleatória de seres antropomórficos. A partir de então, os filósofos da chamada linha pré-socrática construíram uma visão cosmológica, inserindo uma ordem natural governada por princípios e leis que relacionassem os fenômenos a causas e forças previsíveis. Os pré-socráticos distinguiam as aparências, percebidas pelos sentidos, da essência, percebida pela inteligência, usando como método de investigação a especulação racional. Segundo eles, os

princípios ordenadores da natureza se escondiam sob as aparências, não sendo alcançados pelos sentidos, apenas pela inteligência (SOUZA FILHO, 2000).

O objeto de investigação dos filósofos pré-socráticos era o encontro de uma explicação natural para os fenômenos naturais, ou seja, a formulação de uma teoria que fizesse uma conexão causal entre fenômenos. Para estes filósofos, explicar o fenômeno era relacionar um efeito a uma causa que o antecede e o determina, através de umnexo causal. A explicação causal era regressiva: uma causa requereria outra causa mais básica, até que se chegasse a uma situação inexplicável. Para evitar o impasse, os filósofos propuseram a noção de *arquè*, o elemento primordial que inicia o processo racional de causas e efeitos, ordenados e harmoniosos, o *kosmos*. O oposto do *kosmos* seria o *kaos*. O *kosmos* se organizaria em hierarquias, sendo a causalidade entre estas a lei principal (SOUZA FILHO, 2000).

Em seqüência aos pré-socráticos, surge na Grécia o pensamento platônico, segundo o qual o real não está na *empíria*, os fatos percebidos pelos sentidos, mas nas idéias, que estruturam e explicam as aparências. Para os platônicos, a forma mostra **como** as coisas são, enquanto que as idéias mostram o **que** elas realmente são. A essência da natureza só seria acessível pela via da inteligência e do entendimento de modelos racionais mentalmente desenvolvidos no exercício da dialética, o método científico concebido por Platão (KÖCHE, 2003). O platonismo, segundo Almeida (2003), levaria à introdução da hipótese da auto-organização universal: todo objeto seria, ao fim e na essência, causa de si mesmo.

Aristóteles, discípulo de Platão, suprime a exclusividade das idéias para a explicação da natureza. Para ele, a ciência resulta do entendimento de relações no mundo das idéias, somado à experiência sensível, ou seja, retoma o empirismo. O método aristotélico analisa a realidade através de suas partes e dos princípios observáveis, para, em seguida, postular princípios mais amplos, logicamente encadeados, que explicariam as observações. Aristóteles dividia um objeto de estudo em duas partes, o seu ser, a essência do objeto, e a sua qualificação ou predicados, as categorizações. A filosofia aristotélica praticava a observação sensível pela contemplação dos fenômenos, com o objetivo de descobrir os seus mecanismos internos de governo, ou seja, as suas relações de causalidade, em um processo de observação e intuição racional. Esta filosofia explicava as categorizações dos objetos através de quatro causas, a causa material, a causa formal, a causa eficiente e a causa final. As duas primeiras causas diziam respeito à construção física e lógica do objeto, a terceira causa referia-se à lei interna de governo do objeto e a quarta causa considera o efeito observado da ação do objeto (SOUZA FILHO, 2000; KÖCHE, 2003).

Ao relacionar as leis de governança de objetos com os efeitos observados de suas ações, Aristóteles confirma o empirismo e não descarta uma circularidade no raciocínio causal.

Francis Bacon, empirista do século XVII, propôs o método das coincidências constantes. O método postula que a todo fenômeno corresponda uma causa necessária e suficiente: surge a causa, surge o efeito; desaparece a causa, desaparece o efeito; varia a causa, varia o efeito. Com base em observações repetidas e em observações invertidas, conhecer-se-ia o funcionamento dos fenômenos. Stuart Mill, empirista do século XIX, indica métodos para chegar à causa de um fenômeno: (i) método da concordância: se vários casos do fenômeno têm um antecedente comum, este é a causa; (ii) método da diferença: se um caso em que o fenômeno está presente e um caso que o fenômeno não está presente têm todos os antecedentes em comum menos um, este é a causa; (iii) método das variações concomitantes: se o fenômeno varia e apenas um dos antecedentes varia, este é a causa; e (iv) método dos resíduos: ao separar-se de um fenômeno a parte que é o efeito de antecedentes conhecidos, o antecedente que sobra é a causa do resíduo do fenômeno (SOUZA FILHO, 2000).

David Hume, empirista do século XVIII, sugere que não existam nem causas nem efeitos na natureza. Haveria precedências e conseqüências, sendo possível verificar apenas a temporalidade dos fenômenos, mas não a sua causalidade. A relação causa-efeito seria uma construção liberal da mente humana para perceber regularidades e repetições impostas pela natureza. Hume propugna que a noção de causalidade, o nexó causal, não seja perceptível aos sentidos humanos, pois estes são capazes de perceber no máximo uma conjunção constante entre fenômenos, mas não a conexão necessária, a que implica causalidade. Para Hume, se o conhecimento provém da percepção sensorial sobre a repetição dos fenômenos e as percepções são suscetíveis a erros de interpretação, jamais se terá um conhecimento absoluto sobre os nexos causais, o que introduz a noção de probabilidade nas relações causa-efeito (SOUZA FILHO, 2000; BARROS; LEHFELD, 2000; CERVO; BERVIAN, 2002).

Em oposição ao empirismo, o racionalismo recupera as idéias platônicas e propõe que se chegue ao entendimento das causas dos fenômenos por meio da reflexão dedutiva, o silogismo. Chegar-se-ia à certeza pela razão, o princípio absoluto do conhecimento. Exponente do racionalismo, Descartes propõe a análise e a síntese. A análise divide uma situação em tantas partes quantas necessárias, até que se tenha um fenômeno capaz de ser entendido e explicado racionalmente. Já a síntese caminha na direção oposta: vai das partes constituintes em direção ao todo, identificando e relacionando as partes analisadas. A análise e a síntese podem operar tanto em fenômenos naturais, dividindo e identificando as partes físicas

constituintes, como em fenômenos mentais, em que um conceito é dividido em conceitos subjacentes que suportam e reconstróem o conceito original (LAKATOS; MARCONI, 1991).

A exatidão até então obtida pelo método científico inspirou os cientistas do século XIX a acreditar que a ciência houvesse alcançado a objetividade plena, tornando-se assim um espelho fiel da realidade. Tal posição foi justificada racionalmente por Kant, na obra *Crítica da razão pura*, vinda à luz em 1787. A ciência experimental, para Kant, se transforma no modelo de conhecimento perfeito e acabado, que pode elucidar os fenômenos a partir dos conhecimentos fundamentais de tempo e espaço, universais e absolutos. No alvorecer do século XX, no entanto, surgiu dentro da física a ruptura que desbancou o valor absoluto das noções de tempo e espaço. Tal ruptura se processa a partir da física quântica e das teorias da relatividade de Einstein, projetadas subjetivamente segundo sua sensibilidade e imaginação e consolidando-se no princípio da incerteza de Heisenberg. A quebra do mito da objetividade pura e isenta de influências modificou o caráter da ciência, tornando-a não apenas a objetiva descritora, mas também uma influenciável interpretadora da realidade (KÖCHE, 2003).

Segundo Cirne-Lima (2003), devido a Aristóteles e principalmente a Tomás de Aquino, grande parte da filosofia e praticamente toda a ciência assumiram como pressuposto, a partir do século XIII, a concepção de mundo que separa a causa causante e o efeito causado. Firmou-se na tradição filosófica o conceito de relação linear causa-efeito: a causa seria diferente, lógica e ontologicamente anterior ao efeito por ela produzido. Se um efeito tornar-se uma nova causa, então esta nova causa produziria um novo e ulterior efeito, fora dele e depois dele, estabelecendo uma cadeia linear e unidirecional de causas, efeitos, novas causas e novos efeitos. Tal assunção, se bem que tenha permitido grandes progressos à humanidade, não permitiu que se avançasse no mesmo ritmo no estudo de outros tipos de fenômenos.

A cadeia linear de causa-efeito não descreve os processos cibernéticos. Segundo Wiener (1948, apud CIRNE-LIMA, 2003), a série causal pode fletir-se sobre si mesma e configurar-se segundo um formato circular, de modo que o último efeito passe a ser a primeira causa de uma série finita. Deste modo, a série causa-efeito-causa assume uma forma circular, realimentando-se e auto-determinando-se, de modo auto-organizado. Esta forma de auto-organização se relaciona com a *causa sui*, a razão suficiente para a existência de um objeto em estudo. Ao reduzir-se a série causal a dois elementos, a causa produz o efeito que produz a causa; ao fim, a causa seria a causa dela mesma, recuperando a noção platônica de *causa sui*.

Para Cirne-Lima (2003), a auto-organização é preconizada pela teoria geral dos sistemas e propõe que o universo, antes de ser mecanicístico, seja auto-organizado pela *causa sui* segundo um processo dialético. Na mesma obra, Margutti Pinto (2003) argüi que um universo

abrangendo todos os sistemas interromperia a espiral autocausante, pois não disporia de um ambiente externo com o qual trocar energia, tornando-se uma estrutura fechada do ponto de vista organizacional e também energético. Valendo a segunda lei da termodinâmica, tal sistema tenderia à exaustão pelo aumento de entropia, não tendo como replicar-se nem como auto-organizar-se sob novas formas. Deste modo, segundo o autor, a idéia de universo auto-organizado e autocausado não seria compatível com a teoria geral dos sistemas.

2.2.2 Termos teóricos, construtos, conceitos e indicadores

Segundo Köche (2003), fenômenos individuais, apesar de diferentes em sua essência, sob certas situações, podem se comportar de modos semelhantes. Observações individuais e únicas, sob mensuração, podem ser alocadas a classes padronizadas e a generalizações empíricas, expressáveis por enunciados verificáveis.

A teoria surge da necessidade de se encontrarem explicações para as observações. A teoria relaciona, ordena e explica os fatos, construindo, por meio de uma lógica dedutiva e com base em conceitos e axiomas, as classificações, correlações, princípios e leis necessárias para a explicação do fenômeno em estudo. A intermediação entre os fatos e a teoria se dá pelas leis, que resumem e descrevem o comportamento de uma classe de fatos e fenômenos. As decorrências das teorias são apresentadas de modo determinístico ao descrever a única manifestação de um fenômeno, e de modo probabilístico ao descrever a expectativa de muitas manifestações, reforçando, de certa forma, o argumento de Hume segundo o qual não existe uma estrutura determinante, mas uma estrutura de probabilidade nas relações causa-efeito (KÖCHE, 2003; PAPOULIS, 1984; CERVO; BERVIAN, 2002).

Para proceder às observações, algumas vezes o pesquisador deve lidar com fenômenos não recorrentes ou inacessíveis, que o forçam a lançar mão de construções abstratas, as idéias, para a investigação remota. A idéia é a representação mental de um ente e o termo é a sua expressão verbal, necessária para a comunicação. A idéia e o termo possuem duas propriedades, a compreensão e a extensão. A compreensão de uma idéia é o conteúdo ou o conjunto de atributos que permitem apreender seu conteúdo. A extensão de uma idéia é o conjunto de entes aos quais a idéia se aplica, indicando a sua generalidade. A construção mais abstrata capaz de representar uma idéia é o chamado termo teórico, que aglutina em si os

aspectos de uma definição suficientemente ampla para justificar a estruturação nos seus componentes construtivos (LAKATOS; MARCONI, 1991; MACIEL, 1974).

Os significados contidos em expressões, tais como *competitividade* ou *estratégia*, parecem ser suficientemente amplos para que sejam considerados termos teóricos.

O termo teórico compreende os construtos, construções abstratas mais próximas do fenômeno, mas ainda dele afastadas, consciente e deliberadamente criadas para atender a um propósito científico de representação de uma idéia. Construtos se sustentam em conceitos, ainda mais próximos da realidade, que captam ou apreendem fatos ou fenômenos observáveis, expressando-os por um sistema semântico, gramatical ou simbólico, tornando-os inteligíveis e processáveis. Um conveniente conjunto de conceitos pode ser usado para representar hierarquicamente um construto dentro de um esquema teórico. Duas operações se aplicam a um conceito, a definição e a divisão. A definição estabelece a compreensão do sentido do termo, sendo uma medida da sua amplitude. A divisão desmembra o conceito em seus elementos sustentadores, as dimensões. Se estas puderem ser representadas por valores numéricos, os indicadores, estes refletirão graduações do conceito perante referenciais (LAKATOS; MARCONI, 1991; MACIEL, 1974).

Indicadores podem ser combinados e resumidos em índices e podem fazer parte de esquemas teóricos que auxiliem o pesquisador a representar a realidade. Por exemplo, o construto *aprendizado* pode ser dividido em dimensões, tais como *acertos em respostas*, *rapidez de raciocínio* ou *prolixidade no escrever*. As dimensões podem ser avaliadas e comparadas por indicadores, tais como *percentual de respostas corretas*, *minutos até a resposta* ou *número de páginas de uma obra*. As dimensões podem ainda ser resumidas em um único índice que pondere os três indicadores conforme uma regra de importância relativa.

Finaliza-se resumindo a trajetória percorrida na representação de uma idéia: parte-se de observações mensuradas por indicadores, passa-se por dimensões, conceitos e construtos, chegando-se ao termo teórico representativo da idéia que se deseja estudar.

2.2.3 Medições através de variáveis

Uma teoria gera, por dedução lógica, hipóteses que deverão ser submetidas a testes para confirmação ou refutação. Para tal, é útil a associação de variáveis à hipótese. Uma variável é

todo aspecto observável na realização de um fenômeno, formando um conjunto de medidas distribuídas em um domínio, geralmente o domínio tempo, associado a um conceito, construto, aspecto, propriedade ou fator discernível em um objeto de estudo. A medida pode ser quantitativa ou qualitativa, se associada a um número ou a uma categoria. É pela alocação de variáveis a hipóteses que os construtos e conceitos de uma teoria podem ser testados e aprimorados (ROESCH, 1999; BARROS e LEHFELD, 2000).

Variáveis possuem tipologias, relacionamentos e classificações.

A tipologia de uma variável considera sua posição em um relacionamento. Uma variável independente causa, contribui ou determina o estado de uma variável dependente; uma variável antecedente explica a variável independente; uma variável interveniente reforça ou atenua o efeito da variável independente na variável dependente; a variável é exógena ou endógena se está dentro ou fora do objeto em estudo. Variáveis dependentes e independentes podem manter diversos tipos de relações de causalidade: (i) deterministas (sempre que *A* ocorre, *B* também ocorre); (ii) tautológicas, se *A* e *B* explicam o mesmo fenômeno; (iii) suficientes (basta *A* para haver *B*); (iv) necessárias (sem *A*, não há *B*); (v) irreversíveis ou unidirecionais (*A* afeta *B*, *B* não afeta *A*); ou (vi) reversíveis ou sistêmicas (*A* causa ou afeta *B*, *B* afeta ou causa *A*) (BARROS e LEHFELD, 2000).

As variáveis podem ser classificadas segundo o nível de abstração e a forma de mensuração. Quanto à abstração, as variáveis podem ser (i) gerais: não podem ser diretamente mensuradas; (ii) intermediárias: mais concretas e mais próximas da realidade do que as variáveis gerais; e (iii) empíricas: indicam diretamente as características a serem observadas e medidas. Quanto à mensuração, as variáveis podem ser: (i) quantitativas discretas, representáveis por números descontínuos (1; 2; 3; ...); (ii) quantitativas contínuas, representáveis por quaisquer números; (iii) categóricas nominais, associadas a atributos independentes entre si (RS, SC, PR, etc.) e (iv) categóricas ordinais, associadas a atributos que mantêm entre si uma estrutura de graduação (maior, menor, etc.). A representação numérica do estado de uma variável admite as escalas (i) nominal: atributos que só admitem relações de equivalência [=; ≠] (brasileiro = 0, uruguaio = 1, argentino = 2); (ii) ordinal: admitem uma estrutura de graduação no atributo (péssimo = 1; ...; ótimo = 5); (iii) intervalar: a graduação do atributo é proporcional ao intervalo na escala (a diferença entre 10° e 20°C de temperatura é a metade da diferença entre 10° e 30°C); e (iv) proporcional: além da proporção intervalar, há uma referência zero, de modo que a proporção entre atributos e escala é constante (altura, peso, etc.) (PEREIRA, 1999; BARROS e LEHFELD, 2000).

Variáveis quantitativas físicas, tais como a temperatura e a pressão, são medidas por instrumentação dedicada. Quando esta não existe, lança-se mão de modelos.

Modelos são abstrações simplificadas da realidade, mostrando as relações essenciais que se julguem válidas entre causas, efeitos, objetivos e restrições. Os modelos capturam alguns parâmetros da realidade e, segundo regras, estimam outros parâmetros. Modelos físicos reproduzem em outra escala as relações percebidas entre elementos de um sistema, excluindo fatores que impeçam o estudo em verdadeira grandeza, tais como distâncias entre planetas ou entre moléculas. Modelos também podem ser esquemáticos, representando relações físicas, como em *lay-outs*, e lógicas, como em fluxogramas (RIGGS, 1981). Pereira e Santos (2001) classificam os modelos em (i) estáticos ou dinâmicos, segundo sua capacidade de capturar a evolução das grandezas representadas; (ii) determinísticos ou probabilísticos, segundo a consideração dada às incertezas inerentes ao objeto de estudo; (iii) físicos ou matemáticos, segundo a linguagem utilizada; e (iv) normativos ou descritivos, segundo seu formato seja um objetivo idealizado ou a descrição da realidade encontrada.

A teoria das filas, por exemplo, oferece modelos para medições na manufatura, tais como o tempo mais provável até a conclusão de um pedido e o número mais provável de pedidos a espera de processamento. A teoria calcula estas variáveis a partir de parâmetros medidos empiricamente, tais como o ritmo de entrada e o ritmo de saída de pedidos.

Para Gomes, Gomes e Almeida (2002), como um modelo não é uma reprodução perfeita da realidade, sua avaliação deve ser feita estritamente nos termos e na finalidade para a qual foi construído. Sterman (2000) propõe uma discussão acerca da verificação e da validação de modelos. O termo verificação se origina do termo latino *verus*, verdade, e assume o sentido de comprovação da verdade incondicional de um fato. Já o termo validação se aplica a uma conclusão condicional, corretamente derivada de premissas admitidas. A verificação de um modelo comprovaria que sua representação da realidade é verdadeira e incondicional, ao passo que a validação comprovaria que, das condições assumidas como realidade, as premissas, foram corretamente derivadas as conclusões, o modelo. Um método para testar a validade de um modelo é aplicá-lo a uma situação passada e observar se os resultados do modelo correspondem aos resultados verificados no passado.

Também é necessário abordarem-se variáveis categóricas. Este tipo de variável pode surgir na avaliação de grandezas relacionadas a intangíveis. Sellitto e Ribeiro (2004) propõem um método para a medição de intangíveis que se vale de questionários. Divide-se o intangível em questões que recuperem e recomponham o objeto em estudo em sua totalidade investigada. Para cada pergunta oferecem-se respostas categóricas escalonadas, associando-se

a cada categoria um valor em uma escala. Atribuindo-se uma distribuição de importâncias relativas às perguntas, chega-se a um valor final para o objeto em avaliação.

A escala de Likert pode ser útil para tal representação. A atitude, opinião ou impressão do respondente é refletida sobre uma série contínua ímpar de pontos, que vai de um extremo negativo a um extremo positivo, passando por um ponto neutro ou médio, equidistante dos extremos (REA e PARKER, 2002). Para Pereira (1999), a escala de Likert reflete visualmente os conceitos aristotélicos de oposição entre contrários e relatividade de categorias, tornando-a útil na pesquisa de intangíveis, ligados principalmente à opinião e crenças de decisores.

Ao se avaliar um modelo por questões, deve-se considerar erros conceituais e erros na mensuração física. Os erros conceituais se originam da necessidade de se inserirem conceitos latentes no modelo, investigados por perguntas que não representem com exatidão, para o respondente, o conceito investigado. Se cada indicador participar da representação de um único conceito, é possível testar sua confiabilidade, ou seja, a consistência com qual representam o conceito latente ao qual estão designados. Indicadores de alta confiabilidade são altamente intercorrelacionados, indicando que todos medem o mesmo conceito.

Uma maneira de medir a confiabilidade dos indicadores é o teste do alfa de Crombach. O teste oferece como saída um valor entre 0 e 1, sendo 1 a máxima confiabilidade. Softwares existentes, tais como o SPSS, oferecem o valor que seria obtido caso cada indicador fosse eliminado do modelo. Deste modo identificam-se os indicadores que contribuíram para a redução da confiabilidade. Reciprocamente, também pode-se investigar os respondentes. Quanto mais as variações conjuntas entre as diferentes mensurações do fenômeno superarem as variações individuais, maior será a confiabilidade do construto. Quanto mais indicadores forem usados na mensuração do construto, maior será a confiabilidade. O alfa de Crombach é calculado pela equação 1 (PEREIRA, 1999; HAIR et al., 1998). Um caso de exploração metodológica do teste é apresentado em Sellitto, Borchardt e Pereira (2003).

$$\alpha = \frac{k \cdot \left(\frac{\overline{\text{COV}}}{\overline{\text{var}}} \right)}{1 + (k-1) \left(\frac{\overline{\text{COV}}}{\overline{\text{var}}} \right)}$$

Equação 1;

em que:

k = número de indicadores que compõem o construto latente;

cov e var são as covariâncias e as variâncias dos indicadores; e

$\overline{\text{cov}}$ e $\overline{\text{var}}$ são as médias das covariâncias e variâncias dos indicadores.

2.2.4 Medições multivariadas como problemas de decisão

A medição em objetos segundo modelos com múltiplas variáveis pode exigir decisões acerca de alternativas para o modelo, geralmente avaliadas por um decisor.

Segundo Gomes, Gomes e Almeida (2002), um decisor é um indivíduo ou grupo de indivíduos que influencia(m) no processo de decisão, de acordo com suas crenças, valores e preferências ou os juízos de valores que represente(m). Quando o processo decisório envolve grupos, as relações que se estabelecem entre os membros podem se modificar à medida que se desenvolvam as discussões, surjam novas informações e enriqueçam-se as interações mútuas. Quando se trata de grupos de decisores, tem-se um processo social, no qual as preferências individuais subsidiam decisões coletivas, baseadas em parâmetros de medição direta ou originadas das crenças e preferências dos decisores, transformados em valores numéricos através de regras de formação (FRENCH, 1986).

Pereira e Nagano (2002) propõem uma tipologia de decisores. O decisor racional analisa todas as alternativas e decide pela melhor delas. O decisor satisfaciente ostenta uma racionalidade limitada, devida principalmente à sua incapacidade de interpretar todas as informações, limitando-se a examinar algumas e intuir acerca das demais alternativas. O decisor cognitivo opera com multiatributos e multimodelos, aprendendo ao longo do processo decisório. Por fim o decisor difuso opera por comparações integrais ou proporcionais com experiências passadas, que são os seus referenciais.

Um decisor racional pode fazer uma análise lógica e sistemática de um problema de decisão. O problema do decisor é fazer uma escolha entre alternativas, cujas conseqüências ou utilidades dependam de estados não-conhecidos *a priori*, os estados da natureza. O decisor pode ter algumas informações prévias sobre estes estados, podendo sugerir a separação dos cenários possíveis em situações individuais, atribuindo-lhes probabilidades. A escolha do decisor racional ocorrerá segundo as suas preferências pelas conseqüências possíveis e com base em seus julgamentos sobre as conseqüências ainda não conhecidas (RAIFFA, 1977).

Para Hogarth (1988), a capacidade de decisores em processar informações é limitada. Segundo o autor, a percepção das informações disponíveis sobre uma realidade não é compreensiva, é seletiva. Deste modo, o conhecimento de decisores acerca das implicações de uma decisão é incompleto e imperfeito, podendo ser útil formular, por modelos comunicáveis, as regras de decisão empregadas. Estas regras devem ser coerentes com o conhecimento

acerca do sistema em estudo e com as informações disponíveis para os decisores e devem ser robustas o suficiente para não perder aderência em situações extremas.

Segundo Sterman (2000), decisores podem usar regras heurísticas (*rules of thumb*) em seus julgamentos. Tais regras funcionam bem em situações simples, mas podem levar a procedimentos de limitada racionalidade em situações de maior complexidade. As evidências empíricas obtidas em experimentos e estudos de campo sugerem que a racionalidade presente em processos de decisão humana é limitada, devido a que a capacidade cognitiva humana é sobrepajada pela complexidade da decisão (SIMON, 1957, apud STERMAN, 2000).

Pereira e Nagano (2002) resumem e classificam as decisões, parafraseando Simon (1957): (i) decisões estruturadas são repetitivas e rotineiras, podendo ser executadas em uma máquina; (ii) decisões semi-estruturadas são parcialmente programáveis e parcialmente dependentes de julgamentos de decisores; e (iii) decisões não-estruturadas desafiam e excedem a capacidade dos métodos quantitativos, dependendo de julgamentos de decisores.

Em um problema de decisão é relevante distinguir e individualizar o efeito que cada componente produz no resultado final. Em intangíveis, nem sempre é clara a individualização, já que pode haver interferências mútuas e não-linearidades. Na análise estratégica de competitividade, nem sempre é possível dividir um objetivo final em uma hierarquia de objetivos, tal que, se todos os objetivos intermediários forem alcançados, o objetivo final também o seja. Tais situações podem envolver nebulosidades e sombreamentos, o que torna a percepção mais complexa e mais sujeita a variabilidades do que em uma situação delineada.

Para Saaty (1991), a percepção da realidade em casos mal delineados e complexos se dá em três estágios: (i) decomposição da realidade complexa em partes; (ii) descoberta das relações entre as partes; e (iii) síntese ponderada do todo. A estrutura é o veículo pelo qual se conduz a análise da realidade, o que pode conduzir a estruturas de complexidade crescente, em que seja de interesse dividir a situação em hierarquias mais fáceis de serem analisadas. Uma hierarquia é uma organização em que um ente superior é influenciado por entes inferiores, que por sua vez são influenciados por outros entes sucessivamente inferiores, em descendência. Um grupo de entes de mesmo escalão corresponde a um nível na estrutura hierárquica e influencia apenas o grupo imediatamente superior.

Saaty (1991) define uma hierarquia como uma abstração da estrutura de um sistema, com o objetivo de entender as interações e as intensidades de seus impactos na função global. Algumas questões emergem na estruturação hierárquica de sistemas: (i) como estruturar a hierarquia do sistema; (ii) como medir os impactos de cada elemento na hierarquia; e (iii) como otimizar o resultado global do sistema. Em hierarquias de níveis independentes, os

elementos de um mesmo nível são mutuamente independentes e as hierarquias são lineares, não havendo relações circulares e de realimentação. Uma discussão sobre hierarquias não-lineares e interdependência é encontrada em Salomon e Montevechi (1998).

Em hierarquias do tipo arborescente, um critério mais complexo é dividido em sub-critérios menos complexos, arranjados de modo que um sub-critério só afete o critério ao qual está subordinado, não havendo subordinação múltipla. Os critérios de nível hierárquico inferior devem ser mutuamente exclusivos e devem fornecer uma descrição exaustiva do critério de nível superior. Para cada critério superior deve haver ao menos dois critérios inferiores para que se justifique a necessidade de uma estrutura arborescente. (ENSSLIN et al., 2001; KEENEY, 1976, apud ENSSLIN et al., 2001).

Maciel (1974) associa uma arborescência a um grafo com caminhos divergentes, em que um e apenas um dos vértices, a raiz, possui apenas arcos de saídas. Os demais vértices se arranjam em uma estrutura descendente e divergente, constituindo as camadas intermediárias da arborescência. Os membros do último subconjunto de vértices, que constituem a camada inferior da arborescência, possuem apenas um arco de entrada, sem arcos de saída.

A figura 6 apresenta duas estruturas hierárquicas: uma geral e uma arborescente.

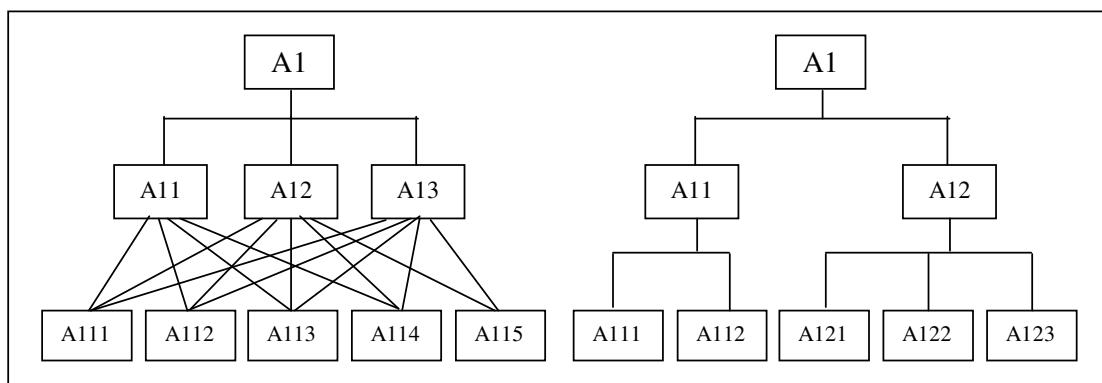


Figura 6: Hierarquia geral e arborescência

Fonte: elaborada pelo autor

Hierarquias são necessárias para o uso de um método de auxílio à decisão multicritério, sendo construídas a partir do conhecimento do decisor acerca da situação de interesse. Caso haja uma teoria, é possível usá-la para construir a hierarquia, pois a teoria separa e classifica o conhecimento acerca do objeto em estudo. Do contrário, lança-se mão de instrumentos de representação de relações, tais como os mapas cognitivos. Mapas cognitivos são grafos em que cada nó contém um construto ou ponto de vista e cada flecha contém uma relação causal

ou campo de força. A construção pode ser feita em sessões de *brainstorming*, identificando-se os elementos primários de avaliação, que sustentam o conceito principal e suas relações com outros conceitos. Pelo mapa pode-se chegar à estrutura arborescente: (i) identificação e separação de conceitos que guardem entre si alguma similaridade, os pontos de vista fundamentais; (ii) agregação de pontos de vista fundamentais em pontos de vista superiores; (iii) unificação dos pontos de vista superiores em um objetivo superior unificado; e (iv) testagem se os pontos de vista fundamentais constituem um conjunto exaustivo de requisitos para a avaliação das alternativas (ENSSLIN et al., 2001).

2.2.5 Problemas de decisão e preferências de decisores

A escolha de um modelo de medição é um problema de decisão, o que envolve uma situação problemática e o julgamento de cursos de ação previamente apontados como viáveis para a sua solução. Algumas situações podem justificar a análise e estruturação prévia do problema, visando a ponderar e avaliar as alternativas de ação.

Decisões podem ser binárias ou contínuas. Uma decisão binária separa o conjunto de alternativas em dois subconjuntos, um factível e outro que não é factível. Já uma decisão contínua atribui pontuações às alternativas, formando uma ordenação (*ranking*). Problemas binários tornam-se contínuos ao se comparar cada um dos cursos de ação viáveis contra a alternativa de não fazer nada (FRENCH, 1986).

Uma análise de decisão se refere aos procedimentos quantitativos que antecedem uma decisão e se inicia pela estruturação do problema de decisão em: (i) estratégias ou cursos de ação alternativos; (ii) resultados e conseqüências esperadas das alternativas; e (iii) estados da natureza, ou estados, que são o conjunto dos fatores externos que influenciarão os resultados das alternativas. Tais elementos podem ser arranjados em uma matriz de decisão, cujas linhas contém as alternativas e cujas colunas contém os estados da natureza possíveis. Nas células apontam-se os resultados esperados para cada alternativa sob cada estado (MOREIRA, 1999).

Uma matriz de decisão é como na tabela 2, em que x_{ij} descreve as conseqüências do curso de ação a_i , segundo o estado da natureza θ_j . Um decisor racional deve transformar a descrição das conseqüências em valores numéricos que possam ser posicionados em uma escala contínua através de uma função $v(x_{ij})$. Se $v(x_{ij}) > v(x_{kl})$, então o decisor prefere a conseqüência x_{ij} à conseqüência x_{kl} (FRENCH, 1986).

Tabela 2 - Forma geral de uma matriz de decisão

		estados da natureza			
		θ_1	θ_2	...	θ_n
alternativas	conseqüências	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
	a_1	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
	a_2
	a_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

Fonte: French, 1986, p. 35

As informações disponíveis para a avaliação dos resultados esperados podem ser exatas, incertas, incompletas ou imperfeitas, gerando diferentes tipos de decisão: (i) sob risco, se são conhecidas as probabilidades π_i de ocorrência dos estados da natureza; (ii) sob incerteza, se não existem estas probabilidades; e (iii) sob certeza, se um único estado da natureza é possível. Uma regra de decisão identifica a melhor alternativa. É possível que regras de decisão diferentes conduzam a soluções diferentes para o mesmo problema. French (1986) apresenta o enfoque bayesiano, segundo o qual não é apenas a partir da observação do passado que se obtém probabilidades, mas também a partir da situação em estudo.

Uma regra aplicável à decisão sob risco é calcular o valor esperado da alternativa, ou seja, a soma dos produtos dos resultados das alternativas pelas probabilidades. Outras regras são aplicáveis quando a decisão se dá sob incerteza são: (i) *maximin*, ou critério de Wald: escolhe-se a alternativa que apresente o maior entre os menores resultados possíveis; (ii) *maximax*, ou critério de Hurwicz: escolhe-se a alternativa que apresente o maior entre os maiores resultados possíveis; (iii) o critério da razão insuficiente, ou critério de Laplace: calculam-se os valores esperados das alternativas associando probabilidades iguais a cada estado da natureza; e (iv) o critério do mínimo arrependimento, ou critério de Savage: escolhe-se a alternativa de menor diferença de resultado entre cada estado da natureza e o estado que oferece o melhor resultado (MOREIRA, 1999; FRENCH, 1986).

Segundo French (1986), uma regra de decisão deve atribuir um índice numérico e oferecer um posicionamento para cada alternativa sob estudo. O autor aponta axiomas que uma regra de decisão deve atender: (i) chegar a um posicionamento completo de todas as alternativas; (ii) chegar ao mesmo resultado independentemente da ordem de linhas e colunas; (iii) chegar ao mesmo resultado independentemente da escala dos resultados; (iv) posicionar melhor *A* sobre *B* se todos os resultados de *A* forem melhores do que os de *B*; (v) posicionar duas alternativas quaisquer independentemente das demais alternativas; (vi) chegar ao mesmo

resultado se uma constante for somada a uma coluna; (vii) chegar ao mesmo resultado se duas linhas forem permutadas; e (viii) chegar ao mesmo resultado se uma coluna for duplicada.

Para Gomes, Gomes e Almeida (2002), um problema de decisão em ambiente complexo geralmente deve atender a múltiplos objetivos, exibindo algumas características: (i) os critérios de solução são conflitantes entre si e não há um curso de ação que seja superior a todos os demais cursos em todos os critérios; (ii) tanto os critérios como as alternativas não são claramente definidas e as conseqüências dos cursos de ação não são claramente compreendidas; (iii) os critérios e as alternativas têm algum tipo de interferência mútua; (iv) a solução do problema inclui múltiplos decisores; (v) as restrições às alternativas não são totalmente conhecidas; e (vi) alguns critérios são quantificáveis diretamente e outros critérios são apenas avaliáveis através de julgamentos efetuados sobre uma escala.

Para Gomes, Araya e Carignano (2004), um processo de apoio à decisão multicritério é um problema de otimização com diferentes e simultâneas funções-objetivo, representando os objetivos simultâneos da análise decisória. É possível que uma solução prevaleça em alguns dos objetivos, sendo superada em outros. Os autores chamam este tipo de situação de decisão multicritério discreta (DMD), apontando quatro tipos de aplicação: (i) selecionar a melhor alternativa; (ii) separar as boas das más alternativas; (iii) ordenar as alternativas; e (iv) descrever as alternativas. Para os autores, estas problemáticas não são interdependentes, pois pode-se iniciar pela descrição das alternativas, passando-se a uma ordenação e à separação das melhores, chegando finalmente à identificação da alternativa preferencial.

Quando uma DMD deve ser tomada, individual ou coletivamente, é necessária uma regra que possa considerar e comunicar a diversidade das crenças e preferências do grupo de decisores. Uma alternativa para se atingir este objetivo é representar explicitamente uma estrutura de preferências dos decisores que seja capaz de comparar e comunicar alternativas excludentes em uma decisão, admitindo-se que os decisores consigam declarar suas preferências ou indiferença diante de duas alternativas quaisquer. A expressão das preferências dos decisores é feita por comparações, com base em relações binárias.

As relações entre proposições são estudadas pela lógica matemática, em três partes sequenciais: a lógica das proposições, mais primitiva, a lógica das classes e a lógica das relações. Uma proposição expressa um juízo de uma relação entre ao menos duas idéias pertencentes a uma mesma classe. Estas relações podem ser do tipo A é equivalente a B , o que exige que A e B sejam comparáveis, ou seja, da mesma classe (MACIEL, 1974).

Proposições podem ser relacionadas na forma original, literal, ou através de uma forma numérica equivalente, gerada por uma conveniente função $v(x_i)$. A função $v(x_i)$ é uma função de valor ordinal, tal que, se x_1 é preferível a x_2 , então $v(x_1) > v(x_2)$ (FRENCH, 1986).

Um conjunto \mathbf{H} de relações binárias h_i possui propriedades sobre um conjunto \mathbf{X} de proposições x_i . Uma relação binária sobre um conjunto \mathbf{X} é uma partição do conjunto \mathbf{XX} de pares ordenados: o primeiro elemento desta partição é \mathcal{R} , o subconjunto dos pares que estão na relação, o segundo elemento é $\mathcal{R}^c = [\mathbf{XX} - \mathcal{R}]$, o subconjunto fora da relação. As propriedades que relações binárias \mathbf{H}_i podem apresentar são detalhadas compreensivamente em Gomes, Araya e Carignano (2004) e em Gomes, Gomes e Almeida (2002).

Na análise multicriterial, os critérios são idéias de mesma classe, as relações são comparações entre critérios e os juízos são a confirmação ou não destas relações, expressando as crenças e preferências dos decisores. Na análise multicriterial são testados e organizados os juízos acerca de comparações entre os critérios aplicados aos cursos de ação alternativos, convertidos a valores numéricos que formaliza a estrutura de preferências dos decisores.

Na representação das preferências de decisores, podem emergir quatro tipos de relação: a indiferença \mathbf{I} , a preferência estrita \mathbf{P} , a preferência fraca \mathbf{Q} e a incomparabilidade \mathbf{R} .

Sejam a e b duas alternativas. Na indiferença \mathbf{I} há razões claras que justifiquem uma equivalência entre as alternativas a e b ($a \mathbf{I} b$ ou $a \approx b$): o decisor estará igualmente satisfeito tanto com a como com b . Na preferência estrita \mathbf{P} , há razões claras que justifiquem a preferência de a em detrimento de b ($a \mathbf{P} b$ ou $a \succ b$): o decisor só estará satisfeito com a . Na preferência fraca \mathbf{Q} , as razões existentes não implicam ($a \mathbf{P} b$) mas também não são suficientes para implicar ($a \mathbf{I} b$): a é ao menos tão bom quanto b ($a \mathbf{Q} b$ ou $a \succsim b$) e o decisor não sabe se estará satisfeito só com a ou se a e b são indiferentes. Finalmente, na incomparabilidade ($a \mathbf{R} b$), ou não há informações suficientes para uma preferência, ou as alternativas não se destinam ao mesmo objetivo. Neste caso, talvez se deva recuar e analisar se as alternativas pertencem ou não à mesma classe, conforme prévia exigência (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002; GOMES, ARAYA; CARIGNANO, 2004; FRENCH, 1986).

Neste ponto é possível generalizar a função de valor ordinal $v(\cdot)$ já mencionada. Uma função $v(\cdot)$ é uma função de valor ordinal se $v(x)$ for um valor real sobre o conjunto de alternativas \mathbf{X} , tal que valha a equação 2. A função $v(\cdot)$ representa as conseqüências de um curso de ação pertencente ao conjunto \mathbf{X} das alternativas, que em geral requer múltiplos atributos e torna $v(\cdot)$ uma função de múltiplas variáveis.

$$v(a) \geq v(b) \Leftrightarrow [a \succsim b] = [a \text{ é preferível ou indiferente a } b] \quad \text{Equação 2;}$$

Uma vantagem de tal representação é a possibilidade de comunicar uma estrutura de preferências acerca de n alternativas através de n números, se bem que se deva manter alguns cuidados na escolha da escala e das operações com estes n números (FRENCH, 1986).

Com base nas relações binárias e nas suas propriedades, chegam-se a alguns tipos de estruturas de preferências de decisores sobre um conjunto de alternativas X : (i) **ordem completa**, se só há relações de preferências ou do tipo *maior do que*; (ii) **pré-ordem completa**, se só há preferências e indiferenças ou relações do tipo *maior do que e maior ou igual a* e não há incomparabilidade; (iii) **quase-ordem**, se a relação do tipo *maior ou igual a* na pré-ordem completa não é transitiva entre todos os critérios, havendo um limiar que não foi ultrapassado para a transitividade: uma quase ordem com limite de indiferença nula é uma pré-ordem; (iv) **pré-ordem parcial**, que admite a incomparabilidade em uma pré-ordem completa; e (v) **pseudo-ordem**, quando em uma quase-ordem as relações de preferência são do tipo preferência fraca (GOMES, ARAYA; CARIGNANO, 2004; KLIR, 1969).

Para que uma dada estrutura de preferências seja considerada racional, algumas condições devem ser verificadas (FRENCH, 1986): (i) uma alternativa não deve variar segundo circunstâncias como o passar do tempo, sendo sempre equivalente a ela mesma; (ii) tanto as preferências como as indiferenças devem ser transitivas; e (iii) as preferências fracas são transitivas em relação às indiferenças. Uma estrutura de preferências é racional se é ou uma ordem completa ou uma pré-ordem completa.

2.2.6 Um método de apoio à decisão multicriterial: o AHP

Ao se avaliarem as utilidades de cursos de ação, considerou-se que era possível associar a cada curso e estado da natureza conseqüências enumeráveis e comparáveis. Um conjunto de conseqüências C_i é tal que (i) possa ser comparado a duas conseqüências de referência L e W , tal que L seja menos preferido ou indiferente a C_i e C_i seja menos preferido ou indiferente a W , como na equação 3; e (ii) existam probabilidades $\pi(C_i)$ tais que um decisor seja indiferente entre C_i e uma loteria básica que ofereça W com probabilidade $\pi(C_i)$ e L com probabilidade [1

- $\pi(C_i)$]. Deve-se medir cada conseqüência C_i em termos de um valor numérico: nem sempre é simples associar a uma conseqüência C_i um único valor, mas freqüentemente é possível associar à conseqüência um vetor $\mathbf{X} = [x_1, \dots, x_n]$ que resuma suas implicações segundo os atributos que a expliquem (RAIFFA, 1977).

$$L \preceq C_i \preceq W$$

Equação 3;

Resta ainda o problema da obtenção de \mathbf{X} . Em termos da estruturação de objetos, uma conseqüência C_i pode ser entendida como um termo teórico e seus fatores de sustentação ou atributos podem ser entendidos como construtos latentes subdivididos em conceitos e medidos por variáveis manifestas. O problema da obtenção de \mathbf{X} se reduz ao problema de determinar que variáveis serão medidas, que estrutura explicará o termo teórico representativo da conseqüência C_i e que pesos os componentes da estrutura terão.

French (1986) compara este problema à determinação de uma variável *proxi*, ou seja, uma variável numérica que descreva efeitos qualitativos difusos causados por diversas variáveis independentes. Para o autor, dificilmente nestes casos se tem uma estrutura única, devendo-se identificar atributos que interfiram no objeto de pesquisa, obter uma primeira camada de critérios e repetir o desdobramento até que todos os atributos influentes tenham sido exauridos, em uma estrutura arborescente. A seguir, por uma técnica de decisão, atribuem-se pesos aos critérios, tornando a questão um problema de decisão multicriterial.

Uma dificuldade que pode ocorrer é a falta de mútua exclusividade entre critérios. Para Hogarth (1988), é muito difícil uma abordagem científica encontrar construtos totalmente exclusivos capazes de descrever exhaustivamente um tema. Saaty (1991) afirma que, na compreensão humana da natureza, pode-se encontrar alguma inconsistência, refletida em perda de exclusividade nos construtos. Os juízos de decisores podem violar propriedades da racionalidade, tais como a transitividade, admitindo-se alguma inconsistência no julgamento humano. Portanto alguma zona de sobreposição deve ser esperada entre os critérios de decisão, cabendo ao pesquisador lidar para que não seja demasiada. O pesquisador também deve considerar alguma verificação de consistência do modelo, o que pode, sob certas circunstâncias, servir como elo de realimentação e aprendizado para os decisores. Discussões compreensivas sobre a estruturação e resolução de problemas multicriteriais são encontradas em Keeney e Raiffa (1976), em Saaty (1991) e em French (1986).

Problemas multicriteriais de decisão são abordados por métodos específicos. Gomes, Gomes e Almeida (2002) separam os métodos propostos pela escola americana dos métodos propostos pela escola francesa segundo os pressupostos admitidos.

Na escola francesa, uma alternativa pode ser preferida à outra de modo estrito ou fraco, pode ser indiferente, mas também pode também ser incomparável, o que não é admitido pela escola americana. A escola francesa não usa uma função de valor e não pressupõe a transitividade, trabalhando com enfoques mais subjetivos e mais sujeitos a incertezas do que a escola americana. Esta escola trata algumas situações não totalmente delimitadas que podem ocorrer em uma análise de decisão: (i) o decisor pode não ser capaz de optar por uma alternativa devido a informações incompletas ou imperfeitas; (ii) o analista de decisão pode não ter acesso às reais preferências dos decisores em situações de antagonismo; ou (iii) o decisor pode desejar não descartar uma entre duas alternativas. O enfoque da escola francesa lança mão da preferência fraca e da incomparabilidade, não admitidos pela escola americana. Seus principais métodos são o ELECTRE e o PROMÉTHÉE.

Métodos da escola americana se valem da teoria da utilidade multiatributo, o que pressupõe que o decisor seja capaz de identificar todas as alternativas viáveis e que estas sejam comparáveis entre si segundo critérios. A teoria aceita a preferência estrita e a indiferença e pressupõe que sejam transitivas, o que deve ser adotado com reservas, já que pequenas diferenças entre alternativas adjacentes podem gerar uma grande diferença entre os extremos. Ainda segundo a teoria, é possível definir uma função de valor capaz de medir o mérito de cada alternativa, o que exige pesos e uma avaliação numérica para o estado de cada critério das conseqüências. Ao fim, a ordenação das alternativas corresponde à ordenação dos resultados da função de valor. Um método inserido na escola americana é o método AHP.

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é um dos primeiros métodos propostos e possivelmente seja o mais usado e mais conhecido no campo da decisão multicriterial (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002). Salomon e Montevechi (1998, apud SALOMON, 2002) recomendam seu uso quando há suficiente independência e capacidade de discriminação entre as alternativas de decisão. Não é objetivo desta tese desenvolver uma análise comparada entre métodos. Para este objetivo é suficiente adotar um método que seja capaz de discriminar suficientemente os construtos e conceitos estruturantes de uma estratégia de manufatura. Com base nas indicações da bibliografia, escolheu-se trabalhar exclusivamente com o método AHP. O método foi testado em uma situação similar à ora enfocada, com resultados satisfatórios, aproveitados como exploração de conhecimento. A aplicação e seus resultados são apresentados em Sellitto et al. (2004).

O AHP é baseado em três princípios: (ii) construção de uma hierarquia, (ii) estabelecimento de prioridades; e (iii) consistência lógica das prioridades, sendo capaz de tratar com situações complexas e não-estruturadas de base multicriterial. O AHP pode operar com medições relativas, que comparam duas a duas a influência de critérios na decisão (mais ou menos influente) e medições de intensidade, que medem individualmente a influência de cada critério na decisão. O modo relativo exige a comparação pareada entre os critérios e o modo de intensidade exige a classificação do desempenho da alternativa em níveis como excelente, superior, médio, inferior e pobre, associados a valores numéricos compatíveis. A literatura acerca da AHP é vasta, havendo registros de uso em diversas áreas de aplicação (PARTOVI; WHITERS; BRADFORD, 2002).

O método, sua fundamentação e seus procedimentos são descritos compreensivamente em Saaty (1991) e em Gomes; Araya e Carignano (2004).

O processo se dá em três passos: (i) descrição da situação complexa de interesse sob a forma de hierarquias conceituais; (ii) uso de comparação pareada para a estimação da importância relativa dos elementos ao longo da hierarquia; e (iii) computação dos resultados. No primeiro passo se divide o tema em componentes de sustentação mutuamente exclusivos, os critérios, divididos em sub-critérios e arranjados de modo hierárquico em uma estrutura arbórescente. Julga-se então a importância relativa dos critérios por comparações pareadas.

Saaty (1991) sugere $n.(n-1)/2$ julgamentos:

- o critério a_i é mais importante, menos importante ou equivalente ao critério a_j , $\forall i, j$; e
- para $\forall a_{i,j}$ não equivalentes e dado que a_i é mais importante do que a_j , a_i é: (i) um pouco mais importante do que a_j ; (ii) mais importante do que a_j ; (iii) muito mais importante do que a_j ; e (iv) extremamente mais importante do que a_j .

A matriz de preferências $C_{i,j}$ ($n \times n$) é preenchida segundo a tabela 3. Coerente com a escola americana, o AHP não reconhece a incomparabilidade e a preferência fraca, reconhecendo a indiferença e a preferência estrita, esta última segundo uma graduação.

Tabela 3 - Opções de preferência com base na comparação pareada

se a_i em relação a $a_j =$	então $c_{ij} =$	se a_i em relação a $a_j =$	então $c_{ij} =$
igual	1	igual	1
um pouco mais importante	3	um pouco menos importante	1/3
mais importante	5	menos importante	1/5
muito mais importante	7	muito menos importante	1/7
absolutamente dominante	9	absolutamente irrelevante	1/9

Fonte: Saaty, 1991, p. 22

Obtém-se os coeficientes de importância relativa encontrando o autovetor de máximo autovalor. Os componentes do autovetor oferecem as importâncias relativas dos elementos e o autovalor dá a medida de consistência do julgamento.

Se um decisor considera a_1 duas vezes mais importante do que a_2 e a_2 três vezes mais importante do que a_3 , este decisor deve considerar a_1 seis vezes mais importante do que a_3 . Se o julgamento for outro, há inconsistência, medida pela razão de consistência CR . A CR é a probabilidade de que os julgamentos tenham sido obtidos de um modo puramente aleatório e, portanto, não constituem uma estrutura racional de preferências. Para Saaty (1991), uma matriz consistente deve apresentar uma CR menor do que 0,10. Do contrário o autor recomenda a identificação e reformulação dos julgamentos inconsistentes.

Sendo A a matriz de comparações, o vetor de prioridades w valida a equação 4. A razão de consistência é calculada pela equação 5, na qual: (i) n é o número de critérios; (ii) $\lambda_{\max} \leq n$ é o maior autovalor; e (ii) IR é o índice randômico médio, extraído de tabela (SAATY, 1991).

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad \text{Equação 4;}$$

$$CR = (\lambda_{\max} - n) / (IR \cdot (n-1)) \quad \text{Equação 5;}$$

Saaty (1991) apresenta alternativas para o cálculo do autovetor e do máximo autovalor. Nesta tese foi usada uma planilha eletrônica que atingiu resultados satisfatórios, se comparados com resultados documentados do software Expert Choice.

2.2.7 Otimização combinatória em problemas de decisão

Quando modelos de decisão envolvem alternativas que competem pelos mesmos recursos e oferecem resultados diferentes, pode-se usar a otimização combinatória. Segundo Cook (1998), a otimização combinatória é um campo de estudos da matemática aplicada que usa técnicas heurísticas, programação matemática e a teoria dos algoritmos para resolver problemas de otimização de funções de múltiplas variáveis, sujeitas a restrições. Hemhauser e

Wolser (1999) apontam a ciência do gerenciamento como um campo de estudos promissor para a otimização combinatória, principalmente por tratar com recursos escassos.

Um modelo de otimização combinatória é composto por um conjunto de variáveis de decisão, uma função-objetivo, restrições e uma função de desempenho, cuja trajetória de saída represente o processo de melhoria e otimização da solução indicada pelo modelo. Um problema de otimização pode ser contínuo ou discreto. Dado um conjunto $E = \{1, 2, \dots, n\}$, uma coleção de subconjuntos não-vazios $F \in E^{nl}$ e uma função $C: F \rightarrow \mathfrak{R}$, um problema de otimização discreta visa a obter um sub-conjunto $S^* \in F$ tal que: (i) $C(S^*) \geq C(S)$, $\forall S \in F$, se o problema for de maximização; e (ii) $C(S^*) \leq C(S)$, $\forall S \in F$, se o problema for de minimização. O conjunto S é a solução viável do problema, F é o espaço das soluções viáveis e o conjunto S^* é a solução otimizante (GOLDBARG; LUNA, 2000).

Ao menos três tipos de programação matemática são relevantes na solução de modelos de otimização: a programação linear, a programação não-linear e a programação inteira. Um caso particular da programação inteira é a programação binária, na qual um membro do conjunto de soluções viáveis é admitido ou rejeitado integralmente na solução otimizante.

A programação binária se presta para o processo de apoio à tomada de decisão desta tese. A partir das opiniões de decisores, constrói-se um modelo qualitativo que descreve um objeto de estudo: uma estratégia de competição em manufatura. O modelo se transforma em um modelo quantitativo linear, considerando as preferências de decisores através do método AHP. O conjunto de soluções viáveis é formado pelo conjunto dos cursos de ação propostos na estratégia existente. O conjunto é avaliado por decisores quanto à sua efetividade em relação aos objetivos estratégicos e aos fatores ambientais, ambos mutáveis em ambiente de negócios dinâmicos. Sujeitos a restrições de aplicação e segundo uma função-objetivo que considere a efetividade dos cursos de ação, encontra-se a combinação de cursos que constitui a estratégia otimizante. Cursos de ação difusos não fazem parte do escopo da abordagem. O procedimento de otimização deve ser recorrente, em uma rotina de controle da execução estratégica, não se descartando a emergência de novos cursos de ação no ciclo de controle. A operacionalização do modelo pode se tornar complexa e pode requerer sistemas de informação com facilidades de apoio à decisão individual e em grupo.

2.3 Medição de desempenho e controle de estratégias

O interesse pela medição de desempenho se intensificou a partir dos anos 1990, principalmente pela insatisfação de empresas com metodologias de avaliação baseadas em resultados financeiros. Bititci et al. (2002), Gomes, Yasim e Lisboa (2004) e Melnick, Stewart e Swink (2004) apresentaram resenhas parciais de estruturas e metodologias já propostas para esta avaliação, das quais se apontam algumas e suas datas de publicação: (i) o modelo do prêmio Malcolm Baldrige, em 1987; (ii) o modelo SMART, em 1989; (iii) o questionário para a medição de desempenho, em 1990; (iv) o BSC, em 1992 e 1996; (v) o PMSDP, pelo grupo de pesquisa de Cambridge, em 1996; (vi) o modelo de referência IPMS, de 1998; (viii) o modelo de impacto financeiro de desempenho; e (ix) o Performance Prism, de 2001. Segundo os autores, muitos dos sistemas existentes são estáticos e históricos, não percebendo mudanças nos ambientes externos e internos, tornando irrelevante a informação disponível.

Dois interesses distintos são considerados na medição de desempenho. O primeiro interesse diz respeito ao público externo, tal como o mercado acionário, o poder público e sindicatos, e é atendido pela contabilidade financeira sob a forma de balanços patrimoniais e sociais. O segundo interesse diz respeito ao público interno e deve ser atendido por sistemas estruturados de medição de desempenho.

Para Miranda e Silva (2002), a principal função da medição de desempenho é verificar se e em que grau a missão da organização está sendo cumprida. Segundo os autores, ao estruturar-se um sistema de medição de desempenho, três perguntas devem ser respondidas: (i) porque medir, exigindo clareza acerca da missão; (ii) o que medir, exigindo que os principais campos de força sejam explicitados e entendidos; e (iii) como medir, exigindo um processo de relacionamento entre as grandezas que operam os campos de força, geralmente latentes, e variáveis manifestas que possam capturar e descrever o seu comportamento.

Para Melnick, Stewart e Swink (2004), a medição de desempenho é o elemento que conecta estratégia e realidade. Para os autores, estratégia sem medição é inútil, medição sem estratégia não faz sentido. Para Hronec (1993), as medições de desempenho são os sinais vitais da organização, comunicando a estratégia para baixo e os resultados para cima e englobando a totalidade do entendimento acerca dos objetivos e das relações subjacentes de causa-efeito. Para Moreira (1996), um sistema de medição de desempenho organizacional é um conjunto de medidas referentes à organização como um todo e às suas partições, aos seus

processos, às suas atividades, de forma a refletir certas características do desempenho para cada nível gerencial interessado. Para Müller (2003), o monitoramento por medições de desempenho torna possível a melhoria e a comparação dos processos com as melhores práticas, o *benchmarking*. Para Bourne et al. (2000), a medição de desempenho tem duas funções: medir o sucesso de uma estratégia e verificar a validade dos pressupostos assumidos ao se formular a estratégia. Para Gasparetto (2003), os sistemas de avaliação de desempenho devem considerar os aspectos sistêmicos da organização, integrando indicadores segundo uma regra vinculada à estratégia e devem ser alterados se a estratégia ou o cenário de competição modificar-se. Para Moreira (1996), as medições devem estar alinhadas com a visão de futuro e com as estratégias atuais, partindo da visão e descrevendo as estratégias. Para Arantes (1998), o desempenho deve ser medido por resultados finais que justifiquem a existência da organização, e por resultados intermediários que expressem o modo pelo qual se acredita que os resultados finais serão alcançados.

Para Kasul e Motwani (1995), antes de se propor um sistema de medição de desempenho, deve-se conhecer os fatores críticos para o sucesso da operação. Uma revisão foi conduzida e apresentada pelos autores, identificando e esclarecendo o papel dos fatores críticos em uma operação de classe mundial, agrupados em nove categorias: (i) compromisso gerencial; (ii) qualidade; (iii) serviços ao cliente; (iv) gerenciamento de fornecimentos; (v) gerenciamento da tecnologia; (vi) controle das instalações; (vii) flexibilidade nas operações; (viii) liderança em preço e em custo; e (ix) competitividade global. Os autores descreveram cinquenta e oito medidores que poderiam suportar os nove requisitos mencionados.

Em um sistema de medição de desempenho, as medições são os elementos e as hierarquias e composições formam as relações. Medições podem ser agrupadas segundo afinidades e resumidas em medições mais gerais, em formato arborescente, sendo possível identificar os elementos limítrofes e a superfície do sistema de medições. Os elementos limítrofes de entrada são os captadores de informação, enquanto que os elementos limítrofes de saída são as informações processadas e consolidadas, a realimentação cibernética.

As relações no sistema de medições não se limitam às hierarquias estruturais. Para Bititci (1995), um sistema de medição de desempenho deve ter outras relações, capazes de: (i) evitar a sub-otimização local; (ii) desdobrar os objetivos estratégicos até os níveis operacionais; (iii) proporcionar o pleno entendimento da estrutura de objetivos e de conflitos, os *trade-offs* da estratégia; e (iv) considerar os aspectos relevantes da cultura organizacional.

Bourne et al. (2000) dividem o processo de implantação da medição de desempenho em especificação, implementação e uso das medições. Segundo os autores, a especificação das

medições é um processo cognitivo em que as visões de estrategistas são transformadas em objetivos de negócios e em medições capazes de mensurá-los. A implementação é gerenciável por metodologias de controle de projeto e baseada em tecnologia de informação. Por fim, a fase de uso consiste na atualização e manutenção das medições, em um processo permanente de aprendizado. Lohman, Fortuin e Wouters (2004) também apontam etapas para a construção de um sistema de medição de desempenho, destacando como última etapa o questionamento da validade dos indicadores utilizados e os testes para a eventual atualização.

Kennerly e Neely (2003) observam que as empresas têm atribuído menos atenção à fase de atualização das medições. Segundo os autores, há pouca evidência de que, havendo mudanças no ambiente de negócios, o sistema de medição continue refletindo as necessidades organizacionais. Para Bourne et al. (2000), o sistema de medição de desempenho deve prever um procedimento de inserção, remoção e revisão de medições, executável sempre que sejam detectadas modificações no ambiente ou na estratégia de competição adotada.

Müller (2003) identifica quatro classes de sistemas de medição de desempenho: (i) modelos com ênfase financeira, tais como o EVA; (ii) modelos clássicos, tais como propostos pela TQM; (iii) modelos estruturados, tais como o BSC e o prêmio Malcolm Baldrige; e (iv) modelos específicos, tais como o modelo Quantum, de Hronec (1993). Melnick, Stewart e Swink (2004) falam em medições individuais, grupos de medições individuais e medições agregadas, das quais se obtém um senso de desempenho global para o grupo de medições, segundo as premissas de agregação.

Propõe-se outra classificação, conforme a rigidez destas premissas: (i) nos **sistemas levemente estruturados**, a premissa é que as medições mensurem os resultados de planos de ação individuais que, mesmo cumprindo objetivos estruturados, não guardem relações lógicas entre si; (ii) nos **sistemas medianamente estruturados**, as premissas incluem temas estratégicos fixos, que geram medições obrigatórias nos temas, mas com ponderação livre; e (iii) nos **sistemas fortemente estruturados**, as premissas incluem temas e ponderações fixas, gerando medições obrigatórias, tanto nos temas como nas ponderações.

A primeira classe tem flexibilidade e responde rapidamente a variações nos objetivos estratégicos, porém não possui estrutura formal e não se presta para comparações. O sistema informa os valores requisitados, cabendo ao decisor a interpretação. São exemplos as medições propostas pelo TQM e os sistemas de informação gerencial baseados em relatórios. A premissa é que o que não é medido não é gerenciado. A segunda classe mede temas que mantenham entre si uma relação lógica seqüencial ou arborescente, não necessariamente de causalidade, como o modelo Quantum (Hronec, 2003) e o BSC. A terceira classe mede temas

estratégicos com ponderações fixas, gerando séries históricas comparáveis entre indústrias e no tempo. O PNQ, por exemplo, pode comparar o desempenho de uma empresa de celulose com o desempenho de uma empresa de transportes.

Os modelos das segunda e terceira classes permitem comparar o desempenho de empresas dentro e fora da indústria. Sendo soluções de compromisso, tais modelos endereçam situações intermediárias que se aproximam de qualquer empresa-alvo. No entanto, se o cenário variar mais rapidamente do que a estrutura, a medição descola da estratégia.

Para investigar o assunto, Sellitto et al. (2004a) fizeram uma pesquisa em uma empresa que adota o BSC em suas medições, é reconhecida pela aplicação continuada de um modelo de gestão baseado no prêmio Malcolm Baldrige, é certificada pela ISO-9000: 2000 e possui um processo de planejamento estratégico estruturado e continuado. O objetivo da pesquisa era mensurar quanto dos fatores de sucesso admitidos para a execução da estratégia vigente era apreendido pelo sistema de medição existente. Os pesquisadores concluíram que 65% dos fatores de sucesso eram apreendidos pelo sistema de medição. Gasparetto (2003) também cita pesquisas que expõem divergências entre o que empresas visam em suas estratégias, o que medem e o que remuneram em sistemas de recompensas.

Os sistemas levemente estruturados são mais fáceis de implantar e de flexibilizar, mas têm baixa capacidade de comparação. Sistemas medianamente estruturados não são tão fáceis de serem implantados porque exigem a explicitação da estratégia em termos de relações causa-efeito e alguma ponderação. Seus resultados, por serem agregados, têm alguma comparabilidade. Por fim, os sistemas fortemente estruturados são de fácil implantação, por já estarem prontos, de grande comparabilidade, por manterem a ponderação, mas de baixa flexibilidade, pois não admitem modificações. Estas características são resumidas na tabela 4.

Tabela 4 - Comparação entre classes de sistemas de medição de desempenho

medição	facilidade	flexibilidade	comparabilidade
levemente estruturada	maior	maior	menor
medianamente estruturada	média	média	média
fortemente estruturada	maior	menor	maior

Fonte: elaborada pelo autor

A tabela sugere uma lacuna: não há classe com grande comparabilidade e grande flexibilidade. Uma classe de medição flexivelmente estruturada seria tão flexível quanto a medição levemente estruturada e ofereceria séries históricas comparáveis, abrindo mão

eventualmente da facilidade de implantação. Esta classe não seria nem melhor nem pior do que as outras; seria diferente, possuindo vantagens e desvantagens que as outras não têm. É de interesse revisar alguns dos modelos já propostos nas classes.

2.3.1 Medição de desempenho medianamente estruturada

Da classe de modelos medianamente estruturados interessa revisar os modelos Quantum e BSC. Escolheram-se estes modelos por conterem e explicitarem elementos que interessa estudar, a hierarquização e a separação de objetivos estratégicos.

O modelo Quantum, proposto por Hronec (1993), tem por premissa que uma organização competitiva deva alcançar dois objetivos estratégicos, criar valor para *stakeholders* e prestar serviço ao cliente. O modelo considera que são necessárias três ações estratégicas: a redução de custo, o aumento da qualidade e o aumento da velocidade. As duas primeiras afetariam o primeiro objetivo estratégico, enquanto que as duas últimas afetariam o segundo objetivo estratégico. Segundo o modelo, deve-se avaliar e otimizar simultaneamente três dimensões de desempenho: o custo, a qualidade e o tempo até a conclusão da operação. O controle de custos representa a expectativa de resultado financeiro, o controle da qualidade representa a expectativa de resultado dos clientes e o controle dos tempos representa os requisitos sobre as velocidades na entrega e no desenvolvimento de produtos.

Para Hronec (1993), o relacionamento entre custo e qualidade corresponde a valor para os clientes: receber um produto ou serviço com alta qualidade e com custo aceitável significa receber um alto valor. Da mesma forma, receber um produto ou serviço de alta qualidade com velocidade significaria receber um alto nível de serviço. A meta principal do modelo, segundo o autor, é desenvolver medidas de desempenho que equilibrem custo, qualidade e tempo.

O modelo mede o desempenho global dos objetivos por uma matriz quadrada em que se avaliam dimensões de custo, qualidade e tempo de execução, em três níveis: na organização, nos processos e nos postos de trabalho. A avaliação se dá de acordo com as influências e repercussões ao longo dos processos e ao longo das etapas dos processos produtivos e o seu objetivo é identificar a contribuição dos elos produtivos para a dimensão considerada. Finalmente, em termos de executantes, avalia-se a situação das dimensões nos postos pessoais de trabalho através da capacidade ou dificuldade de cada posto gerar resultado.

As nove avaliações cruzadas caracterizam e mapeiam o desempenho da organização em um formato que favorece o uso de variáveis categóricas. O formato abre espaço para o uso de técnicas estatísticas que possibilitem identificar correlações e interferências mútuas entre as grandezas sob mensuração, gerando conhecimento sobre a atividade. Na figura 7 apresentam-se os relacionamentos entre as medições propostas pelo modelo Quantum.

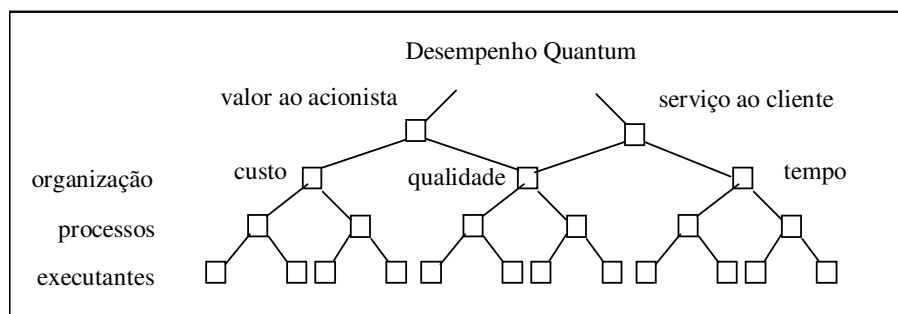


Figura 7: Modelo Quantum de medição de desempenho

Fonte: elaborada pelo autor

O método não determina mas também não impede que tanto os objetivos como as ações estratégicas possuam ponderações. Do ponto de vista estrutural, o método considera um termo teórico intangível, o desempenho, suportado por dois construtos, o valor para o acionista e o serviço para o usuário, em uma estrutura arborescente. Abaixo dos construtos têm-se três conceitos, desfazendo-se a arborescência, pois a qualidade atende aos dois construtos. Os conceitos são mensuráveis em três camadas de profundidade, que também podem ser consideradas arborescências parciais. Como um todo, o sistema proposto não é uma arborescência devido à perda de mútua exclusividade no nível dos conceitos. No entanto, acima e abaixo deste nível, as estruturas parciais podem ser visualizadas como arborescências. Espera-se que aplicações do modelo gerem medições multicolineares, já que não há prevenção contra tal ocorrência.

Tanto as forças como as fragilidades reconhecíveis no método são inerentes à classe. Trata-se de um método de mensuração de desempenho com facilidade de implantação intermediária, pois as dimensões são fixas mas os indicadores não. Não há restrições quanto aos indicadores, que podem assumir formatos quantitativos ou categóricos. A flexibilidade é intermediária, pois podem-se ponderar mas não se podem inserir ou suprimir grandezas, o que significa que deve ser assumida a premissa que as estratégias e os objetivos do método sejam suficientes para que se atinja o desempenho requerido pela organização.

O outro método medianamente estruturado que interessa revisar é o BSC, o *Balanced Scorecard*, cujo significado pode ser associado à expressão *Painel Balanceado de Resultados*.

O *Balanced Scorecard*, proposto por Kaplan e Norton (1997), tem atraído a atenção de teóricos e praticantes. Seu objetivo inicial era propor uma alternativa às medições financeiras de curto prazo, que incorporasse os ativos intangíveis, cada vez mais decisivos na nova economia (SOHN et al., 2003). Para Kaplan e Norton (1997), o BSC é o elo de realimentação das estratégias, refletindo as modificações nas informações sobre clientes, mercados, tecnologias, fornecedores e temas que influam no desempenho estratégico, estabelecendo uma metodologia para a sua medição. Por premissa, o BSC associa três perspectivas às medições financeiras: clientes, processos e aprendizagem, sugerindo que o desempenho estratégico se baseie em quatro tipos de resultados, não apenas no resultado financeiro.

Resultam quatro perspectivas: (i) financeira, incluindo medidas que sintetizem as conseqüências econômicas de eventos passados; (ii) de clientes, identificando segmentos e mercados através de medidas de satisfação, captação e retenção de clientes; (iii) de processos, identificando as cadeias geradoras de valor, que iniciam na inovação, passam pela operação e se encerram em pós-venda, e que sejam capazes de atrair e reter clientes; e (iv) aprendizado, fundamentando-se na melhoria de pessoas, sistemas e procedimentos organizacionais. Por exemplo, um resultado satisfatório em um indicador financeiro, tal como o lucro líquido, inserido na perspectiva financeira, é precedido pelo aumento na margem de lucro, inserida na perspectiva de clientes, que, por sua vez, é precedida pela redução de custo, inserida na perspectiva de processos que, finalmente, é obtida por melhorias na execução, na perspectiva de aprendizagem. As relações causa-efeito na estratégia permeiam as quatro perspectivas.

Speckbacher et al. (2003) apresentam um panorama que aponta a importância atual do BSC, identificando e descrevendo a evolução do entendimento dos especialistas, comparando e tipificando aplicações. À medida que este entendimento avançou, a execução da estratégia também passou a ser mensurada, usando como apoio a descrição da rota estratégica, em mapas de relações causais. Estes mapas geralmente se iniciavam no aprendizado, passavam por processos e clientes e chegavam ao resultado financeiro. Segundo os autores, a forma original, arborescente (*tree-like*), transformou-se em uma forma de fila (*queue-like*), explicitando-se as precedências e conseqüências na execução da estratégia.

Segundo Kaplan e Norton (1997), o BSC é um sistema de gestão que parte da estratégia da empresa, define os mecanismos necessários nas quatro perspectivas para atingir os objetivos e adota um conjunto de indicadores para mensurá-los. Para cada indicador são identificadas metas, a serem alcançadas por planos de ação. As medições que compõem um

BSC devem formar uma série articulada de objetivos e ações, que se reforçam mutuamente, em um conjunto de relações causa-efeito, o que inclui indicadores de fatos, tendências, antecedentes, conseqüentes e ciclos de realimentação que descrevam a rota da estratégia. Por referir-se a uma situação futura e incerta, a estratégia é descrita então por um conjunto de hipóteses sobre relações causa-efeito.

Para Gasparetto (2003), os indicadores do BSC, para traduzir a estratégia da organização, devem conectar-se em uma cadeia de relações causa-efeito, do tipo *se-então*. Por exemplo, **se** reduzirem-se os defeitos, **então** reduzem-se os custos. Ainda segundo a autora, os objetivos estratégicos nas quatro perspectivas, com seus temas estratégicos e processos críticos, podem ser representados através de mapas estratégicos. Mapas estratégicos usam uma arquitetura relacional genérica de descrição de estratégias, que podem ser visualizados como aplicações simplificadas de outras ferramentas relacionais, tais como os diagramas sistêmicos, os mapas conceituais e as árvores de realidade. Nestas ferramentas também investigam-se as relações causa-efeito, chegando-se a estruturas sistêmicas tão ou mais complexas do que os mapas estratégicos.

Para Sim e Koh (2001), pode-se, pela análise de correlação, determinar o tipo de relacionamento, positivo ou negativo, forte ou fraco, entre os indicadores, confirmando ou refutando a validade das relações causa-efeito e identificando interferências mútuas entre indicadores. Sohn et al. (2003) acrescentam que pode-se atribuir importâncias relativas variáveis às perspectivas do BSC, de modo a que se possa focar mais em algumas medições, segundo varia a estratégia assumida.

Do mesmo modo que com o modelo Quantum, as forças e fraquezas do BSC também são decorrentes da classe a que pertence. O BSC apresenta uma facilidade média de implantação, pois exige que a empresa conheça as relações causa-efeito na estratégia vigente. O objetivo final do método é mensurar um termo teórico, a gestão estratégica, suportada por quatro construtos, as perspectivas. Como o método não especifica os indicadores de menor hierarquia, é possível que, havendo perda de mútua exclusividade neste nível, também se perca a arborescência. Embora os autores originais não ofereçam metodologias de ponderação, o uso das mesmas é quase imediato, abrindo espaço para métodos de apoio à decisão multicriterial. No formato arborescente, a mensuração geral oferecida corresponderia à quantidade da estratégia que foi executada. No formato de fila a mensuração geral corresponderia ao progresso temporal alcançado na execução da estratégia.

2.3.2 Medição de desempenho fortemente estruturada

Os modelos de medição fortemente estruturados se caracterizam por suas hierarquias e ponderações fixas e pré-determinadas. As características estruturais destes modelos variam em intervalos de tempo grandes e após análises e consensos institucionais. Não se pode dizer que estes modelos sejam flexíveis, pois as modificações, quando acontecem, são muito mais lentas do que as modificações típicas de ambientes estratégicos. Em contrapartida, estes modelos formam séries históricas próprias para comparações intra e entre organizações.

Até quanto se saiba, modelos fortemente estruturados se derivam de um modelo original, o Malcolm Baldrige National Quality Award, criado em 1987, com o objetivo de promover a busca da excelência em organizações públicas e privadas, de negócios, saúde e educação. Entre os objetivos específicos do prêmio há um método padronizado de avaliação de desempenho. O modelo mensura o termo teórico *excelência na gestão*, suportado por sete construtos, que se apóiam em dezenove conceitos, representados por variáveis categóricas. A mensuração global é linear e em arborescência (BNQP, 2003).

No Brasil, diversas organizações propõem e administram prêmios similares, com modificações nas variáveis e nos pesos, tais como a fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade, o PNQ, a Associação Nacional de Transportadores de Passageiros, a ANTP e a ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. No cenário internacional destacam-se prêmios, tais como os prêmios de qualidade europeus e ibero-americano e o prêmio Shingo (*Shingo Award*), de excelência na manufatura.

A seguir revisam-se o PNQ e o prêmio Shingo.

O modelo de referência do PNQ assume a premissa de que é preciso adotar o TQC para obter competitividade na empresa e estrutura o termo teórico *excelência empresarial* em oito critérios: liderança, estratégias e planos, clientes, sociedade, informações e conhecimento, pessoas, processos e resultados. Os critérios são construtos suportados por vinte e sete conceitos, mensurados por variáveis categóricas. A inclusão do oitavo critério é recente: entre 1990 e 2002, o PNQ considerou sete critérios (FPNQ, 2004).

Segundo a FPNQ (2004), a sobrevivência e o sucesso de uma organização estão relacionados com a sua capacidade de atender as necessidades de seus clientes, que devem ser identificadas, entendidas e utilizadas no desenvolvimento de produtos e serviços. Para que haja continuidade nas operações, deve-se identificar, entender e satisfazer as necessidades da

sociedade e das comunidades, cumprindo as leis e preservando os ecossistemas. A liderança estabelece os valores e as diretrizes da organização, pratica e vivencia os fundamentos da excelência e impulsiona, com seu exemplo, a disseminação na organização. Os líderes são os responsáveis por resultados que assegurem a satisfação das partes interessadas, analisando criticamente o desempenho e tomando ações de controle e aprendizado organizacional. As estratégias, formuladas pelos líderes para conquistar uma posição competitiva, são desdobradas em planos de ação. Para comunicar as estratégias e possibilitar a análise crítica do desempenho, é planejado e operado um sistema de informação. Os resultados, sob a forma de informações e conhecimento, realimentam as ações de controle e, pelo aprendizado, formam a inteligência e a cultura da excelência da organização.

O segundo modelo de interesse é o prêmio Shingo de excelência na manufatura. O modelo assume a premissa que a produção enxuta garante a competitividade na empresa. O prêmio surgiu em 1988 para promover a divulgação dos conceitos da produção enxuta e reconhecer empresas que atingirem a qualidade de classe mundial em manufatura. A missão do prêmio Shingo é: (i) proporcionar informações sobre práticas e técnicas que possam contribuir para criar e manter posições competitivas em manufatura de classe mundial; (ii) estimular o entendimento e a divulgação de metodologias de sucesso em manufatura; e (iii) encorajar a pesquisa em manufatura. O prêmio não pretende ser um modelo de produção, mas um sistema global que incorpore processos de negócios (SHINGO PRIZE, 2004).

O modelo do prêmio Shingo usa uma arborescência pura para descrever o termo teórico *manufatura de classe mundial*. O termo é suportado por cinco construtos que se desdobram em onze conceitos. Dois dos cinco construtos, as operações de manufatura e as operações de suporte, são agregados em um construto de ordem superior, as operações principais (*core operations*). O modelo não determina métodos ou técnicas específicas: para cada construto, lista práticas que podem ser usadas em qualidade, custo, entrega e finanças. Os organizadores reconhecem que uma prática não se aplica automaticamente, não existindo uma rota estratégica única para a excelência em manufatura (SHINGO PRIZE, 2004).

Para os organizadores do prêmio Shingo (SHINGO PRIZE, 2004), a implementação de estratégias e práticas de manufatura de classe mundial requer um alinhamento entre a infraestrutura de gerenciamento e a cultura organizacional, obtido pela capacidade de liderança e de empoderamento da organização. A seguir o prêmio enfoca as operações principais, compostas por técnicas específicas de manufatura e por operações de suporte, tais como administração e finanças, recursos humanos, vendas e compras. O resultado das operações é

avaliado segundo os resultados técnicos de custos, qualidade e entrega e os resultados do negócio são avaliados pela satisfação de clientes e lucratividade.

As tabelas 3 e 4 apresentam os critérios do PNQ e do prêmio Shingo. Apresentam-se as tabelas em seqüência, de modo a permitir uma análise quase sinótica das estruturas.

Tabela 5 - Critérios de pontuação do PNQ

critérios e itens de avaliação	pontuação máxima
1 - LIDERANÇA	100
1.1 – Sistema de liderança	30
1.2 – Cultura da excelência	40
1.3 – Análise crítica do desempenho global	30
2 - ESTRATÉGIAS E PLANOS	90
2.1 – Formulação das estratégias	30
2.2 – Desdobramento das estratégias	30
2.3 – Planejamento da medição do desempenho	30
3 - CLIENTES	60
3.1 – Imagem e conhecimento do mercado	30
3.2 – Relacionamento com clientes	30
4 - SOCIEDADE	60
4.1 – Responsabilidade sócio-ambiental	30
4.2 – Ética e desenvolvimento social	30
5 - INFORMAÇÕES E CONHECIMENTO	60
5.1 – Gestão das informações da organização	20
5.2 – Gestão das informações comparativas	20
5.3 – Gestão do capital intelectual	20
6 - PESSOAS	90
6.1 – Sistemas de trabalho	30
6.2 – Capacitação e desenvolvimento	30
6.3 – Qualidade de vida	30
7 - PROCESSOS	90
7.1 – Gestão de processos relativos aos produtos	30
7.2 – Gestão de processos de apoio	20
7.3 – Gestão de processos relativos aos fornecedores	20
7.4 – Gestão econômico-financeira	20
8 - RESULTADOS	450
8.1 – Resultados relativos aos clientes e ao mercado	100
8.2 – Resultados econômico-financeiros	100
8.3 – Resultados relativos às pessoas	60
8.4 – Resultados relativos aos fornecedores	30
8.5 – Resultados dos processos relativos aos produtos	80
8.6 – Resultados relativos à sociedade	30
8.7 – Resultados dos processos de apoio e organizacionais	50
total	1.000

Fonte: FPNQ, 2004

Tabela 6 - Critérios de pontuação do Prêmio Shingo

critérios	itens de avaliação	pontuação máxima
habilitadores (<i>enablers</i>)	i – liderança, cultura e infra-estrutura de gestão	150
	a – liderança	75
	b – empoderamento	75
operações principais (<i>core operations</i>)	ii - estratégias de manufatura e integração de sistemas	450
	a – visão e estratégia de manufatura	50
	b – inovação no projeto do produto, no desenvolvimento e nos serviços oferecidos ao mercado	50
	c – parcerias com fornecedores, clientes e práticas ambientais	100
	d – operações e processos de manufatura de classe mundial	250
resultados da operação	iii – funções de suporte à manufatura	100
	iv – resultados de qualidade, custo e entrega (<i>outputs</i>)	225
	a – qualidade atual e melhoria da qualidade	75
	b – melhorias em custos e produtividade	75
	c – melhorias em entregas e serviços	75
	v - resultados do negócio (<i>outcomes</i>)	75
	total	1.000

Fonte: Shingo Prize, 2004

2.3.3 Controle estratégico

Os modelos até agora apresentados discutem a medição do desempenho e lançam as bases para o seu controle. Em um processo de gestão estratégica, é na fase de controle que a organização verifica se o caminho que está sendo trilhado leva ou não aos objetivos estabelecidos na fase de planejamento.

Surgem na bibliografia enfoques acerca do controle.

Para Riggs (1981a), o termo controle assume três noções: regular uma variável, exercer autoridade sobre uma situação e restringir um objeto. Para Figueiredo e Caggiano (1997), o termo controle tem diversos usos na linguagem empresarial, tais como o controle de produção ou o controle da qualidade. No primeiro caso identificam-se e executam-se as ações necessárias para garantir o cumprimento dos prazos e das quantidades estipuladas, o que inclui as duas primeiras noções de Riggs (1981a); o segundo caso trata de atividades que garantam conformidade a especificações, segundo a terceira noção de Riggs (1981a).

O controle pode ser estrito, quando modifica-se a execução de um curso de ação em andamento, sem modificá-lo em sua essência; ou amplo, quando adotam-se outros cursos de

ação para atingir o resultado final objetivado. Lohman, Fortuin e Wouters (2004) falam em controles tático e estratégico para tais situações. Em resumo, ações de controle monitoram, avaliam e corrigem o processo de gestão estratégica e ajudam decisores a atingir as metas estabelecidas em outras etapas do processo estratégico (CERTO; PETER, 1993).

Para Figueiredo e Caggiano (1997), o controle possibilita que os desempenhos em andamento, devidamente realimentados por um sistema de informações, sejam comparados com os objetivos planejados. Para Lebas (1995), um sistema de controle de desempenho deve ser construído sobre medições que reflitam as relações de causalidade necessárias e criem uma base para a tomada de decisão. O autor conclui que a medição e o controle de desempenho não podem ser separados, pois a exclusiva medição do desempenho não seria suficiente para o gerenciamento. Para Oliveira (1991), o controle é a função do processo estratégico na qual se mede o desempenho atingido pela atual estratégia e compara-se com o objetivo inicial e com os recursos efetivamente empregados. O resultado da comparação realimenta os decisores, que podem então corrigir ou não ou seus planos.

Para Certo e Peter (1993), o processo de controle se dá em três etapas: a medição do desempenho, a comparação com os padrões esperados e a tomada de ações de correção. Já para Figueiredo e Caggiano (1997), o processo de controle constitui-se de duas etapas: a comparação do desempenho real com o desempenho objetivado no planejamento e a análise, à luz desta comparação, sobre a conveniência de se modificarem ou não os planos.

A função controle se liga à função planejamento através do sistema de informações. Este sistema realimenta o resultado das decisões passadas e serve para avaliação e refino do processo estratégico, em um ajuste contínuo do sistema organizacional às condições ambientais, a fim de estabelecer e manter os melhores cursos de ação possíveis.

Para Beuren e Gibbon (2001), é relevante o papel dos sistemas de informações gerenciais, no sentido de coordenar e otimizar o fluxo das informações requeridas por decisores em uma etapa de controle. O fluxo de informações reúne dados internos, referentes aos processos sob controle, e dados obtidos do ambiente externo à organização. Os sistemas de controle de gestão contêm elementos formais, constituídos de regras explícitas, planos, procedimentos e medidas de desempenho e subdivide-se em outros sistemas, tais como o sistema de produção ou o sistema de qualidade da empresa. O custo da informação não deve ser superior ao benefício que o controle proporcione.

Segundo Merchant (1997, apud BEUREN; GIBBON, 2001), os sistemas de controle podem ser classificados em controle estratégico e controle gerencial. O primeiro tipo investiga a eficácia de uma estratégia, enquanto que o segundo tipo investiga questões mais ligadas às

operações do que aos planos. O controle estratégico tem seu foco mais voltado para fatores afetados pelo ambiente externo, tais como o posicionamento e a competitividade do setor, enquanto que o controle gerencial tem o foco mais direcionado para aspectos internos, tais como a identificação de pontos fortes e fracos que possam influir no desempenho da empresa.

Outra classificação é apresentada por Figueiredo e Caggiano (1997): controle geral, gerencial e operacional. Segundo os autores, o controle geral mede o progresso alcançado em busca da realização dos objetivos e das metas definidas no plano estratégico, enquanto que o controle gerencial é uma atividade subordinada que diz respeito ao uso eficiente dos recursos comprometidos com a realização dos objetivos organizacionais. O controle operacional, por fim, ocupa-se em assegurar que as tarefas definidas nos planos de ação, de menor posicionamento na hierarquia de atividades, estão sendo realizadas eficientemente.

O processo de controle estratégico visa a garantir que o resultado de toda a estratégia da organização seja alcançado. Como uma organização se divide e se sustenta hierarquicamente em funções, também a estratégia se divide e se sustenta em estratégias parciais. Davis, Aquilano e Chase (1999) falam em estratégias funcionais. Certo e Peter (1993) argüem que o controle de estratégias funcionais baseie-se nas mesmas três etapas do controle da estratégia global, adaptado às exigências específicas de cada caso.

Uma estratégia funcional de interesse para esta tese é a estratégia de manufatura.

Segundo Bonney (2000), uma estratégia de manufatura deve ser capaz de satisfazer as necessidades de clientes e da empresa e respeitar as restrições típicas de mercado, tais como restrições legais, ambientais, técnicas e financeiras. Para garantir a execução da estratégia de manufatura, é necessário o uso de uma sistemática de planejamento e controle de produção. Uma tal sistemática, segundo o autor, pode ser pensada em quatro etapas: (i) preparação pré-produção, que arranja os recursos produtivos, tais como máquinas, equipamentos e sistemas de informação; (ii) planejamento da produção, que emite planos de fabricação hierarquicamente agregados; (iii) execução dos planos de fabricação; e (iv) ações de correção dos planos e emergência de novos planos, à luz da comparação entre resultados e objetivos parciais. Resulta clara, do contexto apontado pelo autor, a ação de controle baseada na medição do desempenho. São necessários, além de um sistema de informações estruturado, planos de ação principais e alternativos, cuja emergência é requisitada sempre que o resultado do curso de ação original não cumpra os objetivos da manufatura.

Uma discussão compreensiva sobre o controle de produção e as diversas técnicas existentes é encontrada em Bertrand, Wortmann e Wijngaard (1990). Descrições de algumas técnicas numéricas de controle de produção são encontradas em Wiendahl (1995).

2.3.4 Controle via estratégias múltiplas

Segundo Gasparetto (2003), em um processo de formulação de estratégias, a visão, a missão e as estratégias são definidas pelos executivos principais e comunicadas aos demais níveis da organização, que deverão implementá-las e adotar medidas corretivas para as eventuais mudanças na trajetória. Assume-se que é possível traçar um plano inicial, desdobrá-lo em ações e gerenciar a sua plena execução.

Porém, sempre segundo a autora, a realidade pode não ser tão linear quanto se assume. Surgiriam ao menos dois tipos de variações em estratégias: (i) variações quânticas, em que as mudanças ocorreriam de forma revolucionária, em vários elementos ao mesmo tempo; e (ii) variações incrementais ou gradativas, em que ocorreriam mudanças em um elemento por vez. Lowson (2002) também observa que o gerenciamento estratégico nem sempre segue um rumo racional e linear, podendo um curso de ação lógico, previsto para causar uma ruptura, ser modificado por adaptações, emergências e incrementalidades.

Segundo Mintzberg, Ahstrand e Lampel (2000), as empresas operam em ambiente instável, influenciado por fatores que estão fora do seu controle, mas aos quais devem se ajustar. A estratégia não pode, portanto, ser um elemento estanque e definitivo. São listadas várias estratégias pretendidas, sabendo-se que algumas delas não serão realizadas, ao mesmo tempo em que algumas estratégias não pretendidas poderão emergir, incorporando-se à estratégia executada. Os autores chamam estas estratégias de emergentes.

Para Kaplan e Norton (1997), as mudanças ambientais por vezes invalidam os pressupostos que basearam o mapa estratégico e sobre os quais foi construído o *Balanced Scorecard*. Segundo os autores, decisores devem periodicamente avaliar o impacto externo para determinar se e como as suas estratégias precisam ser alteradas. As experiências e os resultados das revisões gerenciais resultam na definição de novas ações incluídas no plano estratégico, constituindo um elo de controle baseado no aprendizado.

Para Beinhocker (1999), pode-se criar populações de estratégias, capazes de servirem a múltiplos pressupostos. Na definição da estratégia também seriam consideradas as mudanças nos pressupostos que possam ocorrer no cenário de competição, tornando a estratégia mais robusta e evolutiva. Como os cenários de competição podem assumir diversos estados, para cada estado possível seria proposta uma estratégia: a medida que o cenário se move entre os diversos estados possíveis, também se moveriam as probabilidades de sucesso das múltiplas

estratégias. Ao decisor caberia identificar as probabilidades associadas a cada transição entre estados e usar estas probabilidades para pontuar as probabilidades de sucesso das estratégias.

Para Bogaert, Martens e Cauwenbergh (1995), o gerenciamento do processo estratégico pode ser visto como a resolução de um jogo de encaixes (*puzzle game*), em que o papel do decisor seria o de encontrar o melhor encaixe para cada ativo à sua disposição em um cenário complexo e mutável. As competências e os intangíveis seriam como peças a encaixar, de modo a obter o melhor ajuste possível com um cenário formado por peças externas que mudam continuamente. Neste enfoque, o mesmo ativo poderia satisfazer, em diferentes graduações, diversos encaixes, segundo as competências internas e conforme as exigências externas. As mesmas peças poderiam ser encaixadas em diferentes posições, dependendo da percepção dos decisores sobre a interação com outras peças e as possíveis reações do cenário. Para os autores, o processo de aprendizado seria o elo de ligação entre os ativos estratégicos da organização e a resolução do jogo de encaixes proposto pelo cenário competitivo mutável.

Dentro desta linha de pensamento, Lowson (2002) fala em blocos construtivos (*building blocks*) de estratégias. Segundo o autor, seria possível identificar certos blocos genéricos que são recorrentes nas estratégias de uma indústria. Também seria possível observar recorrências em relações: sempre que um dado bloco surge em uma estratégia, outros blocos também surgem. O autor conclui que escolhas de peças em um conjunto de blocos construtivos podem gerar uma estratégia específica de competição para uma empresa em uma indústria.

Avançando nesta linha de raciocínio, seria possível identificar um cenário real como uma combinação difusa (*fuzzy*) dos cenários previstos. Neste caso, as mesmas intensidades difusas associadas aos cenários podem ser associadas à população de estratégias, sugerindo que a estratégia real seja obtida por combinação difusa de estratégias primitivas. Entende-se que uma lógica capaz de selecionar ou mesclar populações de estratégias segundo o ambiente, possa ser um mecanismo embrionário para um controle estratégico adaptativo.

2.4 Considerações finais ao capítulo

Neste capítulo apresentou-se, em três blocos, o referencial teórico. Procurou-se caminhar de uma perspectiva mais ampla, a teoria geral dos sistemas, ao foco específico da tese, o sistema de medição e controle de desempenho estratégico da manufatura.

No primeiro bloco discutiu-se a teoria geral dos sistemas, incluindo características de sistemas, tais como a complexidade, a organização e a variedade, o processo de realimentação e o enfoque cibernético. Ao fim do bloco descreveu-se uma organização produtiva segundo a perspectiva sistêmica.

No segundo bloco discutiu-se a medição em objetos de estudo, caracterizados pela estrutura de causalidade. Tal procedimento requer grandezas intangíveis, descritas por crenças e preferências de decisores e acessadas por técnicas da teoria das mensurações. Ao fim do bloco resumiram-se enfoques encontrados na literatura acerca do processo de decisão racional, incluindo o método AHP de apoio à decisão multicriterial.

No terceiro bloco apresentaram-se considerações sobre sistemas já propostos de medição de desempenho organizacional e uma proposta de classificação destes sistemas, que explicita uma deficiência dos sistemas já propostos. Finalizou-se com o controle estratégico.

Inicia-se no próximo capítulo a contribuição empírico-teórica desta tese. Devido ao método adotado para sua construção, alguns referenciais teóricos adicionais necessários surgem nas partes iniciais dos capítulos 3 e 4.

3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO COMPETITIVO EM MANUFATURA

O objetivo deste capítulo é apresentar o método para a avaliação do desempenho de competição de uma manufatura em sua indústria a ser usado no passo 2 da metodologia proposta. No capítulo 4 será desenvolvido o método a ser usado no passo 3 da metodologia. A seguir apresenta-se a metodologia de avaliação proposta e um estudo de caso em uma manufatura de equipamentos eletrônicos, doravante chamada de empresa focal. Os resultados são discutidos e servirão como aprendizado para a continuidade das pesquisas.

3.1 Estratégia e competitividade em manufatura

Inicia-se retomando o conceito de estratégia, aplicando-o a operações de manufatura.

Uma estratégia empresarial apresenta três níveis: corporativo, de negócios e funcional. A estratégia corporativa relaciona-se com o ambiente em que o grupo empresarial atua e define os negócios a explorar, segundo estratégias funcionais, tais como as estratégias de operações ou de manufatura. A relação entre uma estratégia de negócios e as estratégias funcionais é hierárquica e pode ser representada como na figura 8. A estratégia de negócios se desdobra e se sustenta em estratégias funcionais, que a recompõem e sintetizam. Se bem que as setas indiquem o sentido alto-baixo para o desdobramento, competências presentes nas operações podem influenciar a estratégia de negócios. Conexões horizontais também são possíveis, pois objetivos de uma estratégia funcional podem depender de competências presentes nas outras estratégias (PAIVA; CARVALHO; FENSTERSEIFER, 2004).

Interessa delimitar a manufatura. Segundo Skinner (1996), a manufatura coordena e gerencia os esforços de produção de produtos e serviços, ao longo de uma cadeia geradora de valor. A cadeia se inicia no projeto do produto, passa pelo desenvolvimento do processo de fabricação, fornecimento dos insumos, fabricação, armazenagem e distribuição, chegando aos serviços associados ao produto. A estratégia de manufatura inclui decisões interligadas e mutuamente coerentes que cobrem todas as atividades da cadeia de valor. Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004) consideram a estratégia de manufatura em conjunto com estratégias de pesquisa e desenvolvimento e de marketing e vendas, tratando o conjunto como uma meso-estratégia de gestão da demanda.

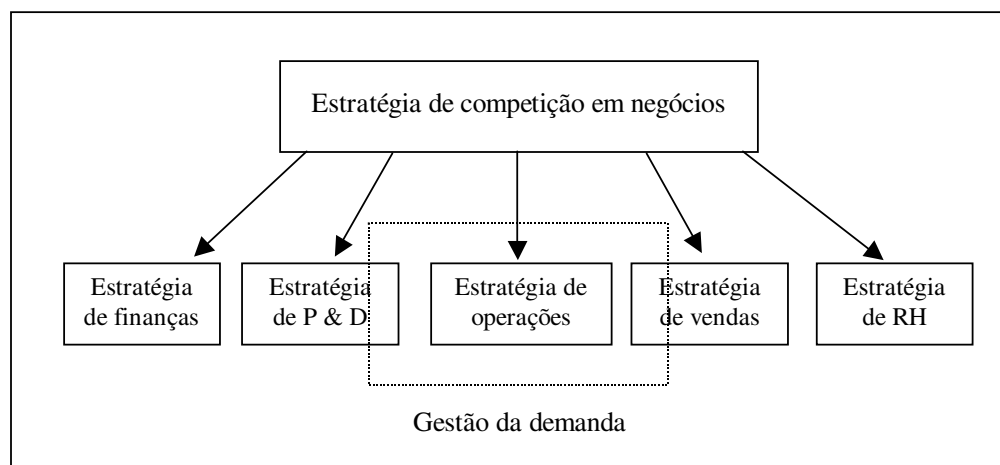


Figura 8: Relacionamento entre estratégias

Fonte: elaborada pelo autor, com base em Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004)

A estratégia de operação propõe como alcançar os objetivos impostos pela estratégia de negócios, criando e mantendo uma vantagem competitiva baseada na manufatura. Parafraseando Skinner (1969), a competição baseada em manufatura é o elo que conecta a estratégia de operação à estratégia de negócios.

Parafraseando Porter (1998), Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004) argumentam que três classes de estratégias de operação seriam identificáveis: liderança pura em custo, diferenciação pura de produto e estratégia com foco simultâneo em custo e em diferenciação. A liderança em custo se sustenta principalmente na economia de escala, obtida com concentração e padronização de produto. A diferenciação se sustenta no aumento da qualidade e na redução do tempo de lançamento de novos produtos, obtidos com mercadologia, pesquisa e desenvolvimento. A terceira estratégia se sustenta na ruptura do compromisso (*trade-off*) entre custo e diferenciação, pela introdução da flexibilidade na manufatura, principalmente

através dos chamados sistemas flexíveis de manufatura, do projeto e manufatura apoiados e integrados por computador (CAD/CAM/CIM).

A ruptura de soluções de compromisso traz à luz a discussão sobre as competências necessárias para a formulação de uma estratégia competitiva de manufatura.

Wheelwright (1984) formula a estratégia de manufatura por uma seqüência de decisões baseadas em competências, e que criam uma vantagem competitiva na indústria. Contador (1996) chama as vantagens competitivas de armas de competição. Wheelwright (1984) aponta nove categorias de decisões: (i) capacidade de produção; (ii) localização, tipologia, volume e ciclo de vida de instalações; (iii) equipamentos, *lay-outs* e tecnologia de operação; (iv) integração vertical e opções do tipo comprar ou fazer; (v) recursos humanos; (vi) requisitos de qualidade a serem atendidos; (vii) escopo de produção e de novos produtos; (viii) sistemas de gerenciamento e melhores práticas a serem seguidas; e (ix) relações e integração entre as estratégias funcionais. Davis, Aquilano e Chase (1999) apontam duas classes de estratégias de manufatura: (i) a estratégia estrutural, que define aspectos de longo tempo de maturação, tais como a localização industrial e a tecnologia de produção; e (ii) a estratégia infra-estrutural, que diz respeito a fatores de menor prazo de maturação, tais como o tipo e o tamanho da força de trabalho, o nível de qualidade e a flexibilidade da produção.

A estratégia de manufatura se relaciona com a estratégia de negócios através da competitividade que aquela possa agregar a esta, o que evoca o conceito de competitividade.

Segundo Ferraz, Kupfer e Haguenaer (1996), estudos anteriores não conduziram a uma definição de competitividade e, por conseqüência, a uma metodologia para a sua medição. Para os autores, as raízes da competitividade têm sido localizadas ora em fatores internos às empresas, tais como a tecnologia, a qualidade dos produtos ou a adoção das chamadas melhores práticas, ora em fatores ambientais, tais como baixos custos de produção em regiões, baixas taxas de inflação ou taxas favoráveis de câmbio.

Os autores propõem que a competitividade seja a capacidade da empresa formular e implementar estratégias concorrenciais que ampliem e mantenham uma posição vantajosa na indústria, o que pode depender de fatores subjetivos e não-mensuráveis. A competitividade seria uma variável multifacetada que incluiria duas visões: uma que sintetiza variáveis que já se manifestaram, tais como o preço e a capacidade de atendimento, e outra que sintetiza variáveis apriorísticas, tais como a capacitação que a empresa possui. O desempenho atual seria determinado pela capacidade da empresa mudar variáveis que decidem a competição através da capacitação previamente acumulada. Ao invés de ser um atributo de um produto ou de uma empresa, a competitividade seria uma característica relacionada ao conjunto dinâmico

de fatores críticos de sucesso, representados por variáveis de estado, e pela capacidade adquirida de influir nestas variáveis.

Porter (1998) lança luz à discussão ao propor um modelo para a criação da vantagem competitiva, considerando tanto fatores externos como internos à organização. O modelo de Porter não se fixa nos fatores já citados, que seriam as fontes da vantagem competitiva, mas nas suas conseqüências, representadas por forças, tais como a capacidade de clientes, fornecedores, entrantes e substitutos de influenciar o resultado do processo concorrencial.

A ação destas cinco forças se daria como na figura 9. Observa-se no eixo horizontal a ação da cadeia produtiva: os fornecedores, a empresa focal e os clientes lutam para manter ou ampliar seu poder de barganha nas negociações. No eixo vertical observa-se a ação da concorrência: os potenciais entrantes, a empresa focal e os eventuais substitutos lutam para entrar, manter ou ampliar sua posição na cadeia produtiva. No cruzamento encontram-se os atores competitivos do universo concorrencial. O objetivo da empresa focal deve ser manter ou ampliar a abrangência vertical de sua posição, defendendo-se de entrantes e prevenindo a substituição e manter ou ampliar a abrangência horizontal, granjeando para si o poder de barganha, tanto à montante como à jusante na cadeia produtiva.

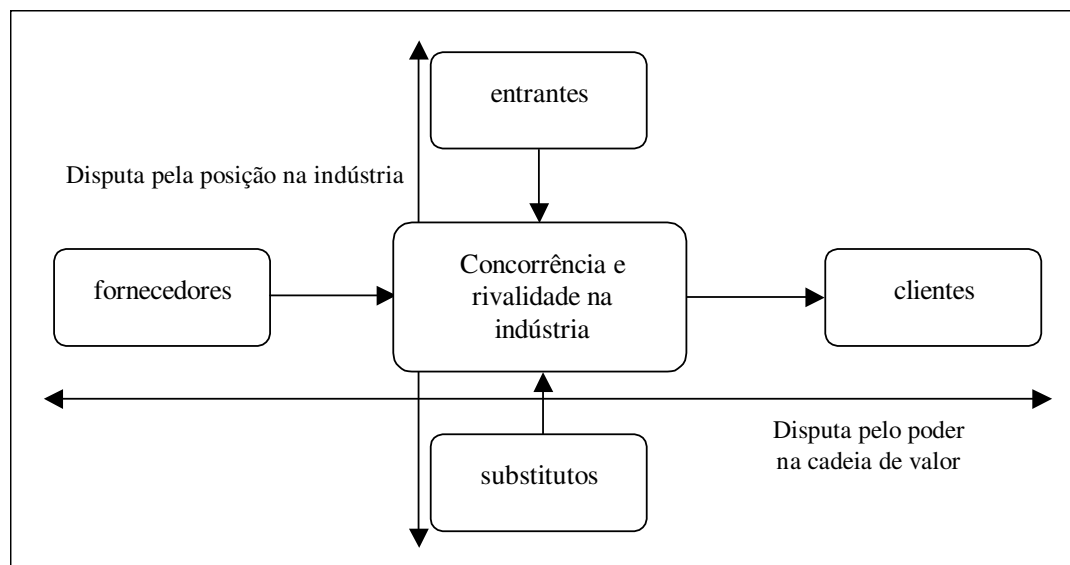


Figura 9: Análise da estrutura de competição em uma indústria

Fonte: adaptado de Porter, 1998, p. 23

Segundo Carvalho e Laurindo (2003), a intensidade das forças não é constante no ambiente competitivo, as regras nem sempre são claras e, quando o são, podem mudar frequentemente. Segundo os autores, é preciso que se acompanhem as mudanças ambientais,

mantendo canais de comunicação permanentes com as novas tecnologias e com os clientes e manter-se informado sobre os movimentos dos concorrentes. A elaboração e a execução de uma estratégia competitiva dependeriam, portanto, de se mapear permanentemente o cenário, a fim de aproveitar as oportunidades e neutralizar as ameaças do ambiente competitivo, focando a estratégia na força com mais capacidade de criação de vantagem competitiva.

Peteraf (1993) apresenta outro enfoque. Segundo a autora, os fatores produtivos em uma indústria apresentam diferentes capacidades de influenciar a competitividade. Os detentores dos fatores competitivos de mais alta capacidade e de acesso limitado competem em condições mais favoráveis do que os detentores de recursos marginais e facilmente alcançáveis. Recursos competitivos de acesso limitado são: (i) fixos, se não podem ser multiplicados; (ii) quase-fixos, se podem ser multiplicados, mas em velocidade menor do que o requisito; e (iii) escassos, se forem menores que o requisito. Para a autora, o ponto-chave da competitividade estaria em manter fixos os recursos de importância superior. As empresas permaneceriam competitivas apenas se estes recursos não pudessem ser livremente expandidos, contratados ou imitados pelos concorrentes.

A autora aponta quatro condições para o surgimento da vantagem competitiva: (i) a diversidade de recursos competitivos cria um desequilíbrio favorável; (ii) a imposição de limites do tipo *ex-post*, criados a *posteriori*, tais como dificuldades para substituição ou imitação, tornam intransponível o desequilíbrio criado pela diversidade; (iii) a mobilidade imperfeita dos fatores competitivos impede que estes sejam obtidos por concorrentes; e (iv) a imposição de limites do tipo *ex-ante*, criados a *priori*, tais como alta produtividade, previne alta de custos e garante a vantagem conquistada. Em resumo, uma empresa aproveitar-se-ia da natural diversidade de recursos na indústria e criaria uma situação vantajosa, preservada por limites impostos na obtenção da mesma vantagem por concorrentes, que teriam acesso a versões inferiores dos recursos, sustentada por ações internas redutoras de custo. A autora reconhece que estes fatores não são mutuamente independentes, caracterizando a heterogeneidade de recursos como o fator que cria as condições vantajosas, cabendo aos demais fatores a determinação de sua intensidade.

Vale ressaltar que um cenário competitivo é dinâmico, pois as forças podem se reequilibrar em diferentes modos em resposta a interações sistêmicas com o ambiente.

É possível reconhecer diferentes objetivos de competição em manufatura.

Uma operação de manufatura competitiva deve satisfazer seus consumidores e superar seus concorrentes, formulando e perseguindo objetivos de competitividade. Slack (1993)

classifica os objetivos em (i) ganhadores de pedidos: garantem o fechamento de negócios; e (ii) qualificadores: a presença não garante, mas a ausência bloqueia o negócio.

Autores estruturaram objetivos para a competitividade na manufatura. Slack (1993) aponta cinco objetivos: (i) qualidade; (ii) velocidade; (iii) confiabilidade; (iv) flexibilidade; e (v) custo. Contador (1996) aponta atributos que são visíveis aos clientes: (i) preço; (ii) produto; (iii) prazo até o uso; (iv) assistência e serviços; e (v) imagem associada ao produto. As armas de competição são invisíveis para o cliente e são os meios de que a manufatura dispõe para atuar nos campos de competição. Skinner (1976, apud DAVIS; AQUILANO; CHASE, 1999) aponta quatro prioridades competitivas: (i) baixo custo; (ii) alta qualidade; (iii) entrega rápida; e (iv) alta flexibilidade. Davis, Aquilano e Chase (1999) acrescentam uma quinta prioridade, o oferecimento de serviços associados ao uso do produto. Finalmente, Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004) falam em (i) custo, (ii) qualidade, (iii) flexibilidade, (iv) desempenho de entrega e (v) inovatividade como objetivos da manufatura.

Segundo Slack (1993), os objetivos de competitividade podem não ter a mesma importância relativa, já que esta dependeria do posicionamento da empresa focal na indústria. Acrescenta-se que a importância relativa também pode variar no tempo, em função de modificações tecnológicas e da entrada e saída de atores na competição. Os modelos apresentados possuem similaridades, sendo comparados na tabela 7.

Tabela 7 - Objetivos de competição comparados

Objetivos de competição segundo:				
Slack (1993)	Contador (1996)	Davis et al. (1999)	Paiva et al. (2004)	descrição do objetivo
qualidade	produto	qualidade	qualidade	fornecer produtos e serviços de alta qualidade
velocidade	prazos	entrega		fornecer produtos e serviços com rapidez
confiabilidade			desempenho de entrega	cumprir os compromissos de entrega
flexibilidade		flexibilidade	flexibilidade	variar rapidamente os compromissos de manufatura
custo	preço	custo	custo	fornecer produtos e serviços a baixo preço
	serviços	serviços		acompanhar e orientar o uso do produto
	imagem			criar imagem favorável no mercado
			inovatividade	acelerar o desenvolvimento de produtos e serviços

Fontes: autores citados

3.2 Desenvolvimento da pesquisa: metodologia e aplicação

Não é objetivo desta tese investigar nem o processo de formulação de estratégias nem o seu processo de desdobramento, interessando apenas suas repercussões na fase de execução. A conexão entre a definição da estratégia de manufatura e a sua execução se dá pela medição e controle da realização dos objetivos estratégicos de competitividade.

Entende-se que uma estratégia de competitividade na manufatura seja uma grandeza multivariável dinâmica, e que seja difícil obter uma modelagem permanente, comparável e aplicável a toda indústria. Propõe-se uma metodologia replicável no tempo e na indústria, que possa gerar e ponderar um conjunto de variáveis de avaliação de objetivos de competição. Como os objetivos são expressos de forma vernacular, são necessárias técnicas qualitativas para a identificação e individualização, e quantitativas para a sua ponderação.

A pesquisa deste capítulo é do tipo exploratório, pois visa a lançar luzes sobre o tema, permitindo que o pesquisador se familiarize e refine o método para uso posterior. A questão de pesquisa é: como avaliar o desempenho de competição na manufatura de modo objetivo, para que a comunicação do resultado seja inequívoca, e com suficiente flexibilidade, para que as mensurações apreendam as variações sistêmicas características de um ambiente competitivo? Até quanto se pesquisou, não foi encontrada uma metodologia estruturada e comunicável que responda integralmente a questão proposta.

Questões do tipo *como* não apontam para o que deve ser estudado, sendo necessário partir de premissas que, além de refletir a questão teórica, também apontem em que direção procurar evidências. A definição de premissas é originária da observação, dos resultados de outras pesquisas, de teorias correlatas e da intuição do pesquisador, servindo de guia para a investigação. As premissas são respostas prováveis e provisórias, a revisar após a pesquisa, indicando aspectos que devem receber atenção em algum momento da pesquisa (YIN, 2001).

Três premissas são adotadas: (i) as condições de competição na indústria requerem um sistema de mensuração estratégica que busque alinhar as estratégias da manufatura com as estratégias da organização; (ii) as empresas que conseguirem explicitar a estratégia de manufatura poderão compreender se as mesmas estão ou não alinhadas com a estratégia global e poderão identificar e preencher as lacunas estratégicas na indústria; (iii) talvez por falta de modelos específicos, a manufatura tem estudado modelos originados em outras áreas, tais como o BSC, mais identificados, segundo o pesquisador, com outras indústrias.

Apresentam-se nas tabelas 8 e 9 considerações que apóiam o pesquisador na definição da técnica e da abordagem de pesquisa. A questão é do tipo *como*, não exige controle de comportamentos e trata com fatos contemporâneos. A tabela 8 indica o estudo de caso. Quanto à abordagem, entende-se que, dos sete aspectos da tabela 9, três (o primeiro, segundo e o quinto) tendem para a abordagem qualitativa e quatro para a abordagem quantitativa. Havendo um equilíbrio, opta-se por mesclar as abordagens ao longo do método.

Tabela 8 - Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa

estratégia de pesquisa	forma da questão de pesquisa	controla eventos comportamentais?	focaliza fatos contemporâneos?
experimento	como, por que	sim	sim
levantamento (<i>survey</i>)	quem, o que, onde, quantos, quanto	não	sim
análise documental	quem, o que, onde, quantos, quanto	não	sim/não
pesquisa histórica	como, por que	não	não
estudo de caso	como, por que	não	sim

Fonte: Yin, 2001, p. 24

Tabela 9 - Adequação das abordagens ao estudo

aspecto a avaliar	pesquisa quantitativa	pesquisa qualitativa
ênfase na interpretação do entrevistado em relação à pesquisa	menor	maior
importância do contexto da organização pesquisada	menor	maior
proximidade do pesquisador em relação aos fenômenos estudados	menor	maior
alcance do estudo no tempo	instantâneo	intervalo maior
número de fontes de dados	uma	várias
ponto de vista do pesquisador	externo à organização	interno à organização
quadro teórico e hipóteses	definidas rigorosamente	menos estruturadas

Fonte: Bryman, 1995, p. 45

Define-se o método de trabalho:

- Etapa qualitativa: grupo focado, cuja teoria é apresentada em Ribeiro e Newmann (2003), com a presença de estrategistas com conhecimento e trajetória de sucesso na indústria, investigando-se aspectos referentes à competitividade que serão organizados pelo pesquisador em uma arborescência;

- Transformação da arborescência em questionário e aplicação aos participantes;
- Aplicação do método AHP para ponderar os níveis da estrutura arborescente;
- Análise de confiabilidade pelo alfa de Crombach; e
- Obtenção de um valor numérico global que expresse a competitividade atual da manufatura, segundo os respondentes.

Escolheu-se uma organização de manufatura eletrônica que produz equipamentos de automação industrial. Justifica-se a escolha pela competitividade do setor ter se acentuado nos últimos tempos, com a entrada de atores globais e pela familiaridade do pesquisador com a empresa e com a indústria. O cenário de competição é global: a empresa vende e entrega equipamentos nos mercados nacional e internacional, concorrendo e cooperando com atores globais. Os produtos são de alto valor agregado, tanto para os clientes como para os usuários. O cliente compra e aplica o equipamento, podendo ser o usuário final ou empresas integradoras, que inserem o equipamento em um sistema de produção. O usuário acompanha o equipamento ao longo do tempo, fazendo a manutenção e reportando o desempenho.

A estratégia basal de manufatura é definida e comunicada: (i) o projeto do produto é feito por técnicos empregados da empresa focal, em associação com universidades e centros de pesquisa afins e inclui particularidades requeridas por clientes; (ii) o fornecimento de materiais é feito por importadores em associações com redes locais de suprimento; (iii) a venda é feita pela empresa focal e por representantes autorizados; (iv) a fabricação é feita sob encomenda em rede de empresas locais, cuja governança é claramente exercida pela empresa focal; (v) a montagem, teste e embalagem são feitas na empresa focal; (vi) a distribuição é feita pela empresa focal e por distribuidores autorizados; (vii) os serviços associados ao produto são executados pela empresa focal e por assistentes técnicos autorizados; e (viii) boa parte da equipe é considerada como trabalhadores do conhecimento. O conjunto de atividades da estratégia de manufatura se alinha à estratégia do negócio: vender alta tecnologia no mercado, resolvendo problemas complexos de automação industrial.

Na segunda parte do método constrói-se um questionário que investiga a opinião dos participantes sobre a situação da empresa perante a arborescência. São adotadas variáveis categóricas e a escala de Likert para mensurar a situação de cada fator, testando-se a confiabilidade através do alfa de Crombach. As perguntas que tenham suscitado dúvidas deverão ser modificadas em futuras aplicações do método.

Na terceira parte pondera-se a estrutura obtida. Os especialistas discutem sobre as importâncias relativas dos fatores críticos, chegando a uma ponderação com o apoio do método AHP. Ao fim, pela média das respostas, chega-se à percepção de competitividade que os especialistas têm da empresa focal e a uma avaliação do potencial de crescimento.

3.2.1 Resultados do grupo focado

A empresa consultada indicou quatro decisores com experiência e trajetórias de sucesso e formação e perfis compatíveis com a indústria e a pesquisa, tais como: conhecimento da operação e do ambiente de negócios da empresa, conhecimento do setor, facilidade de expressão e clareza na formulação de conceitos. As reuniões foram realizadas na sede da empresa, com agendamento e pauta previamente ajustada. Foi prevista uma duração de uma hora para cada reunião, mas as reuniões ocuparam um pouco mais de duas horas. Foram tomadas medidas que evitaram interrupções. Apesar das reuniões terem se estendido mais do que o previsto, não houve cansaço ou impaciência, indicando que o tempo foi subestimado.

O pesquisador moderou o grupo, apresentando os objetivos, a forma de trabalho, a forma de apresentação dos resultados e acordando a confidencialidade. Os participantes foram cooperativos, gerando uma expectativa positiva e um clima amistoso. Opiniões divergentes, exploradas pelo moderador, reforçaram as diversidades do grupo. Julga-se que as respostas e opiniões dos participantes tenham sido transparentes, honestas e sinceras.

Como fio condutor da investigação, elaborou-se um roteiro de questões, segundo indicado em Ribeiro e Newmann (2003): (i) **questão inicial**; o que o grupo entende por competitividade? (ii) **questão de transição**; o grupo reconhece que a empresa opera em um cenário competitivo? (iii) **questões centrais**; como o grupo descreve e interpreta o cenário competitivo em que a empresa opera? (iv) **questão de resumo**; quais os fatores ligados à manufatura que o grupo reconhece como capazes de gerar sucesso no cenário competitivo em que a empresa opera? e (v) **questão final**; como cada um dos fatores acima é constituído? Ao fim abriu-se espaço para comentários e críticas ao método e às discussões produzidas.

O conteúdo das perguntas foi previamente informado, o que contribuiu para que surgissem diferenças de percepção no grupo quanto a aspectos relevantes da pesquisa. O grupo solicitou a inclusão de uma apresentação dos procedimentos de planejamento

estratégico adotados pela empresa focal. Entendeu-se que esta apresentação contribuiria para a contextualização do problema, pois o pesquisador refinaria sua percepção sobre a empresa e os participantes refinariam sua percepção sobre a pesquisa. Após a apresentação parece ter ficado claro para os membros do grupo que o objetivo da pesquisa preencheria uma lacuna no esquema vigente: uma mensuração global do desempenho estratégico da manufatura.

Passou-se então às questões de investigação.

A primeira questão investigou o conceito de competitividade. Algumas expressões foram observadas: concorrentes; disputa; superação de oponentes; conhecimento de forças e fraquezas próprias e de adversários; estratégia ligada aos concorrentes; posicionamentos em relação a concorrentes; definir objetivos e preferências, entender os objetivos e preferências dos adversários; errar menos do que os adversários; estabelecer diversos cursos de ação; escolher entre diversos cursos de ação; cenários probabilísticos de futuro; onde estou, onde quero chegar, que forças preciso para chegar. Os participantes alternaram o uso dos termos concorrentes e adversários, sugerindo animosidade e rivalidade na indústria.

A segunda questão investigou como o grupo reconhece o cenário da operação. Segundo o grupo, todos os fatores apontados na primeira resposta estão presentes. O grupo tem clara visão sistêmica, reconhece os vértices, as arestas, a fronteira e a superfície do sistema de manufatura e reconhece fatores externos que influenciem o ambiente interno: políticas econômicas, incertezas financeiras, disparidades em taxas de câmbio (real, dólar, euro, yen). O grupo reconhece um comportamento instável nas relações, pois fracas oscilações em taxas de câmbio geram fortes variações em operações locais. A resposta à questão alinhou-se quase que automaticamente à discussão anterior, encadeando o raciocínio do grupo.

A terceira questão investigou as características do cenário competitivo da operação. Alguns adjetivos surgiram na discussão: dinâmico, instantâneo, interligado, intrincado, caótico, oscilatório, sinérgico, complementar. Algumas expressões também surgiram: gestão do conhecimento; inteligência competitiva; gestão da informação; cadeias produtivas. A questão encerra a primeira parte da investigação e encaminha as duas questões seguintes, nas quais construiu-se a estrutura representativa dos fatores de competitividade da manufatura.

Um dos objetivos das duas últimas questões é garantir o menor sombreamento possível entre conceitos e construtos. Deseja-se chegar a um julgamento com baixa inconsistência, o que só será possível se a estrutura arborescente represente conceitos cujas idéias subjacentes pouco se interseccionem e pouco se interpenetrem. Chegou-se a seis construtos e vinte e nove variáveis de avaliação, representados na tabela 10.

Tabela 10 - Estrutura de competitividade da manufatura da empresa focal

termo teórico	construtos	conceitos
competitividade da manufatura da empresa focal na indústria	tecnologia	diversificação de produtos
		conhecimento do requisito técnico do cliente
		aderência a tendências tecnológicas universais claras
		auto-suficiência tecnológica
		metodologia de pesquisa em tecnologia
	qualidade	confiabilidade no desempenho do produto
		confiabilidade de fornecedores
		confiabilidade sistêmica no uso do produto
		capabilidade no processo
		agilidade no processo
	comunicação com clientes	presença física pessoal junto ao cliente
		informação que o pessoal de campo tem da manufatura
		informação que o pessoal de campo traz para a manufatura
	serviço associado ao produto	assistência técnica ao longo da vida útil do equipamento
		engenharia de solução segundo os processos do cliente
		engenharia de solução segundo os produtos da manufatura
		suporte técnico para o uso do produto pós-venda
		treinamento de usuários
	flexibilidade nas entregas	presença física no território do cliente
		capacidade de pronta entrega de produtos
		sistema de informações via tecnologia da informação
		conhecimento do produto e da aplicação pelo pessoal de campo
		logística de distribuição
custo	especificação da matéria-prima	
	logística de abastecimento, estoque e armazenagem de matéria-prima	
	processo de cotação e aquisições	
	organização, alinhamento e governança na cadeia de valor	
	mão-de-obra	
	escala de produção e tamanho de lote	

Fonte: elaborada pelo autor

3.2.2 Resultados da aplicação do questionário e do AHP

A seguir avaliou-se, por questionário, o estado atual do termo teórico investigado. Os conceitos foram tratados como variáveis categóricas, pela escala de Likert. A pergunta foi:

- Considere que os fatores a seguir representam como a manufatura pode contribuir para a competitividade da *-nome da empresa-* na indústria em que opera. Como você julga que está a situação atual de contribuição da manufatura em cada fator a seguir (relativo a si mesmo e aos concorrentes)? (opções: péssima, ruim, média, boa e ótima).

Para transformar as categorias em valores, assumiu-se a regra da tabela 11. Na tabela 12 apresentam-se os resultados individuais e as médias das avaliações dos decisores.

Tabela 11 - Valores associados às categorias das variáveis de desempenho

categoria	desempenho no item	pontuação
péssima	0%	1
ruim	25%	2
média	50%	3
boa	75%	4
ótima	100%	5

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 12 - Avaliação do desempenho competitivo da manufatura

variável	respondentes				média C_i	cv
	R1	R2	R3	R4		
diversificação de produtos	3	3	4	3	3,25	0,15
conhecimento do requisito técnico do cliente	4	4	5	4	4,25	0,12
aderência a tendências tecnológicas universais claras	4	5	4	4	4,25	0,12
auto-suficiência tecnológica	5	3	5	3	4	0,29
metodologia de pesquisa em tecnologia	4	4	3	3	3,5	0,16
confiabilidade no desempenho do produto	5	5	5	5	5	0,00
confiabilidade de fornecedores	3	4	4	4	3,75	0,13
confiabilidade sistêmica no uso do produto	5	4	5	5	4,75	0,11
capabilidade no processo	4	4	4	5	4,25	0,12
agilidade no processo	4	3	4	4	3,75	0,13
presença física pessoal junto ao cliente	5	3	3	4	3,75	0,26
informação que o pessoal de campo tem da manufatura	3	4	4	4	3,75	0,13
informação pessoal de campo traz para a manufatura	4	4	4	3	3,75	0,13
assistência técnica ao longo da vida útil do equipamento	5	5	4	4	4,5	0,13
engenharia de solução segundo os processos do cliente	5	4	5	5	4,75	0,11
engenharia de solução segundo os produtos da manufatura	5	4	5	5	4,75	0,11
suporte técnico para o uso do produto pós-venda	4	5	5	4	4,5	0,13
treinamento de usuários	4	5	5	4	4,5	0,13
presença física no território do cliente	4	3	3	3	3,25	0,15
capacidade de pronta entrega de produtos	3	5	4	4	4	0,20
sistema de informações via tecnologia da informação	4	3	4	5	4	0,20
conhecimento do produto e da aplicação pessoal de campo	5	5	5	4	4,75	0,11
logística de distribuição	4	4	4	4	4	0,00
especificação da matéria-prima	5	4	4	5	4,5	0,13
logística de abastecimento e estocagem de MP	4	5	4	4	4,25	0,12
processo de cotação e aquisições	3	4	5	4	4	0,20
organização, alinhamento e governança na cadeia de valor	5	4	4	4	4,25	0,12
mão-de-obra	5	4	4	5	4,5	0,13
escala de produção e tamanho do lote	3	3	4	4	3,5	0,16
desempenho da manufatura %	80,53	77,12	82,61	77,86	79,53	0,03

Fonte: elaborada pelo autor

Na etapa seguinte da pesquisa ponderou-se a arborescência da tabela 10 pelo AHP. Usou-se uma planilha eletrônica que informou os coeficientes e a *CR*, a razão de consistência. Foi possível aos decisores corrigir de pronto as inconsistências dos julgamentos. Como considera-se que há racionalidade nos decisores, apenas a parte acima da diagonal foi julgada, invertendo-se automaticamente os resultados abaixo da diagonal.

O grupo julgou, por comparação pareada, os seis construtos que sintetizam o termo teórico: a importância da tecnologia, da qualidade, da comunicação com clientes, do serviço associado ao produto, da flexibilidade e do custo para aumentar a capacidade de contribuição da manufatura para a competitividade da empresa focal na indústria. Procederam-se a mais seis sessões de julgamentos, referentes à segunda camada da arborescência. Recomendou-se, e o grupo atendeu, que não se usassem valores intermediários para os julgamentos, mesmo que com isto não se atingisse uma *CR* nula. Sob a recomendação, o grupo obteve *CR*'s sempre menores do que 0,10, o que é aceitável, segundo Saaty (1991). Julga-se desnecessário apresentar todas as estruturas de preferências dos decisores, apresentando-se na tabela 13 apenas os coeficientes resultantes dos julgamentos.

O cálculo do valor global do desempenho competitivo da manufatura é dado pela equação 6, em que C_i é o valor da avaliação do desempenho do i -ésimo conceito, obtido na tabela 12 e a_i é a importância relativa, obtida na tabela 13. Os resultados individuais e a média das avaliações para o desempenho da manufatura surgem na última linha da tabela 12.

$$\text{Desempenho na manufatura} = \sum_{i=1}^{29} a_i \cdot C_i \quad \text{Equação 6;}$$

3.2.3 Discussão

Nesta sessão discute-se o caso, com o objetivo de extrair e sistematizar conhecimentos e chegar a uma metodologia. A discussão enfoca o processo de pesquisa e os resultados.

Inicia-se pelo processo de pesquisa.

A etapa qualitativa foi conduzida por um grupo focado, do qual resultou uma estrutura arborescente que descreve o objeto de estudo. Na etapa quantitativa chegou-se a uma função-

objetivo linear ponderada por coeficientes que expressem a média das preferências dos decisores e a um número global que expressa a avaliação do estado do objeto investigado.

O grupo focado atingiu o objetivo, pois foi possível avaliar conceitos intangíveis que poderiam ter sido distorcidos pela percepção dos decisores. A técnica parece ter motivado o grupo, pois, mesmo que as reuniões tenham se estendido mais do que o combinado, não houve reação negativa. As conclusões pareceram refletir o teor das discussões.

Tabela 13 - Modelo para a avaliação de desempenho da manufatura da empresa focal

termo teórico	construtos	conceitos	importância relativa a_i
competitividade da manufatura na indústria (100%)	tecnologia 33,91%	diversificação de produtos: 9,15%	3,10%
		conhecimento do requisito técnico do cliente: 24,52%	8,32%
		aderência a tendências tecnológicas universais claras: 44,86%	15,21%
		auto-suficiência tecnológica: 15,63%	5,30%
		metodologia de pesquisa em tecnologia: 5,83%	1,98%
	qualidade 25,29%	confiabilidade no desempenho do produto: 16,55%	4,19%
		confiabilidade de fornecedores: 8,49%	2,15%
		confiabilidade sistêmica no uso do produto: 44,36%	11,22%
		capabilidade no processo: 25,97%	6,57%
		agilidade no processo: 4,64%	1,17%
	comunicação com clientes 20,04%	presença física pessoal junto ao cliente: 33,33%	6,68%
		informação que o pessoal de campo tem da manufatura: 33,33%	6,68%
		informação que o pessoal de campo traz para a manufatura: 33,33%	6,68%
	serviço 9,15%	assistência técnica ao longo da vida útil do equipamento: 9,51%	0,87%
		engenharia de solução segundo os processos do cliente: 19,18%	1,75%
		engenharia de solução segundo os produtos da manufatura: 21,59%	1,97%
		suporte técnico para o uso do produto pós-venda: 43,25%	3,96%
		treinamento de usuários: 6,47%	0,59%
	entregas 3,15%	presença física no território do cliente: 7,67%	0,24%
		capacidade de pronta entrega de produtos: 14,12%	0,44%
sistema de informações via tecnologia da informação: 4,66%		0,15%	
conhecimento do produto e da aplicação pelo pessoal de campo: 44,14%		1,39%	
logística de distribuição: 29,40%		0,93%	
custo 8,45%	especificação da matéria-prima: 29,67%	2,51%	
	logística de abastecimento e estocagem de matéria-prima: 11,51%	0,97%	
	processo de cotação e aquisições: 7,86%	0,66%	
	organização, alinhamento e governança na cadeia de valor: 16,86%	1,43%	
	mão-de-obra: 4,43%	0,37%	
		escala de produção e tamanho de lote: 29,67%	2,51%
		total	100%

Fonte: elaborada pelo autor

Algumas reflexões emergiram da prática:

- o prévio conhecimento do grupo sobre as questões parece ter facilitado a discussão, pois o grupo claramente preparou e organizou reflexões, argumentando com racionalidade;
- a apresentação prévia da realidade da empresa parece ter sido positiva, pois tranquilizou os membros do grupo quanto à utilidade das conclusões, reforçando sua motivação;
- o conhecimento empírico da indústria e a capacidade de argüição e articulação parecem ter sido relevantes para o bom andamento da pesquisa, o que reforça a necessidade de rigor na seleção dos membros do grupo: formação condizente com o objeto, experiência empírica no trato do objeto e trajetória reconhecida de sucesso na operação do objeto; e
- os participantes trouxeram para o grupo focado a experiência da recente inserção de conceitos do BSC no planejamento estratégico, o que poderia ter enviesado a discussão. Este enviesamento foi prevenido na visita prévia e pela assertividade do grupo, que conseguiu separar e ao fim comparar dois objetos distintos de discussão.

Na etapa quantitativa aplicou-se um questionário em que cada fator constituinte da estrutura foi avaliado e associado a uma de cinco categorias e a um valor numérico. O questionário foi respondido em até trinta minutos pelos participantes. A seguir ponderou-se a estrutura pelo método AHP de apoio à decisão multicriterial. A operação foi explicada pelo pesquisador e o entendimento do grupo parece ter sido suficiente. A discussão que ocorreu na sessão foi acesa e participativa, em que cada membro explicitou e confrontou a sua opinião com as opiniões dos demais membros, chegando-se ao fim da sessão com definições claras sobre as preferências do grupo. Entende-se que o bom resultado final obtido seja devido, mais uma vez, à seleção do grupo, cujos membros apresentam um perfil decisório racional.

Quanto aos resultados da pesquisa, entende-se que se tenha chegado a uma estrutura coerente com as preferências dos decisores. Estes consideraram que a distribuição de importância relativa obtida descreve sua percepção acerca do objeto. Também consideraram que as avaliações individual e global corresponderam à sua percepção de momento. Os participantes demonstraram satisfação com o questionário e as escalas usadas.

Verificou-se a confiabilidade das respostas pelo alfa de Crombach, adotando-se o limite de aprovação de Hair et al. (1998): 0,55. Todos os cálculos para os construtos resultaram abaixo do limite de aprovação, calculando-se então o alfa para o conjunto de todas as variáveis. Concluiu-se que há ao menos três e possivelmente cinco perguntas a serem mais bem elucidadas, referentes às variáveis (i) capacidade de pronta entrega de produtos; (ii)

aderência a tendências tecnológicas universais claras; (iii) logística de abastecimento e estocagem de MP; (iv) assistência técnica ao longo da vida útil do equipamento; e (v) metodologia de pesquisa em tecnologia. Talvez se chegue a melhor resultado caso se pondere a estrutura antes da aplicação do questionário. Os resultados estão na tabela 14.

Tabela 14 - Verificação de confiabilidade do questionário

casos	itens	α de Crombach	situação	retirar
respondentes	todas as variáveis	-0,57	não OK	variáveis 20, 3 e 25
		0,46	não OK	variáveis 14 e 5
		0,63	OK	-

Fonte: elaborada pelo autor usando o software SPSS for Windows, v. 10.0.1, 1999

A outra discussão diz respeito aos resultados. Na figura 10 apresentam-se os conceitos competitivos ordenados pelas possibilidades de crescimento absoluto, em pontos percentuais. Na tabela 15 apresentam-se os valores atuais e a distância da situação de cada conceito à máxima pontuação possível, em pontos percentuais (pp), e a ordem desta distância.

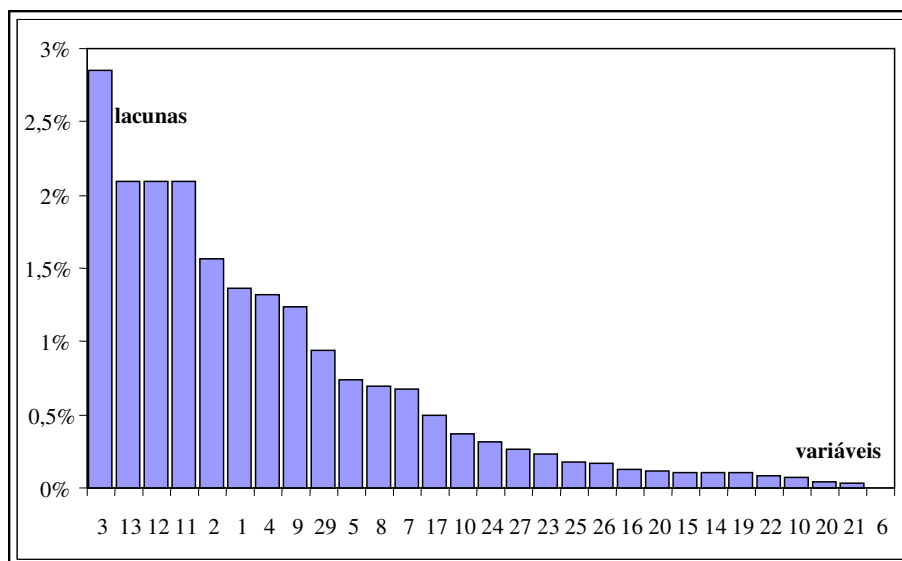


Figura 10: Potencial de crescimento dos conceitos de desempenho

Fonte: elaborada pelo autor

Segundo os respondentes, os conceitos de maior potencial de crescimento são: (i) a aderência a tendências tecnológicas universais claras, (ii) a informação que o pessoal de campo traz para a manufatura, (iii) a informação que o pessoal de campo tem da manufatura e

(iv) a presença física pessoal junto ao cliente. Chamam a atenção dois fatos: (i) a maior lacuna é apresentada pelo conceito de menor confiabilidade; e (ii) três variáveis com lacunas importantes pertencem ao mesmo construto, a comunicação com clientes. Quanto ao primeiro fato, talvez se devesse iniciar a recuperação pelo esclarecimento e delimitação do que se deseja melhorar. Quanto ao segundo fato, talvez possa ser tratado por uma única ação.

Tabela 15 - Lacunas de desempenho competitivo da manufatura

variável	mensurações			
	máxima	atual	lacuna	ordem
diversificação de produtos	3,10%	1,75%	1,36 pp	6
conhecimento do requisito técnico do cliente	8,32%	6,76%	1,56 pp	5
aderência a tendências tecnológicas universais claras	15,21%	12,36%	2,85 pp	1
auto-suficiência tecnológica	5,30%	3,98%	1,33 pp	7
metodologia de pesquisa em tecnologia	1,98%	1,24%	0,74 pp	10
confiabilidade no desempenho do produto	4,19%	4,19%	0,00 pp	29
confiabilidade de fornecedores	2,15%	1,48%	0,67 pp	12
confiabilidade sistêmica no uso do produto	11,22%	10,52%	0,70 pp	11
capabilidade no processo	6,57%	5,34%	1,23 pp	8
agilidade no processo	1,17%	0,81%	0,37 pp	14
presença física pessoal junto ao cliente	6,68%	4,59%	2,09 pp	3
informação que o pessoal de campo tem da manufatura	6,68%	4,59%	2,09 pp	3
informação que o pessoal de campo traz para a manufatura	6,68%	4,59%	2,09 pp	2
assistência técnica ao longo da vida útil do equipamento	0,87%	0,76%	0,11 pp	23
engenharia de solução segundo os processos do cliente	1,75%	1,64%	0,11 pp	22
engenharia de solução segundo os produtos da manufatura	1,97%	1,85%	0,12 pp	20
suporte técnico para o uso do produto pós-venda	3,96%	3,46%	0,49 pp	13
treinamento de usuários	0,59%	0,52%	0,07 pp	26
presença física no território do cliente	0,24%	0,14%	0,11 pp	24
capacidade de pronta entrega de produtos	0,44%	0,33%	0,11 pp	21
sistema de informações via tecnologia da informação	0,15%	0,11%	0,04 pp	28
conhecimento do produto e da aplicação pelo pessoal de campo	1,39%	1,30%	0,09 pp	25
logística de distribuição	0,93%	0,69%	0,23 pp	17
especificação da matéria-prima	2,51%	2,20%	0,31 pp	15
logística de abastecimento, estoque e armazenagem de mp	0,97%	0,79%	0,18 pp	18
processo de cotação e aquisições	0,66%	0,50%	0,17 pp	19
organização, alinhamento e governança na cadeia de valor	1,43%	1,16%	0,27 pp	16
mão-de-obra	0,37%	0,33%	0,05 pp	27
escala de produção e tamanho de lote	2,51%	1,57%	0,94 pp	9

Fonte: elaborada pelo autor

Outra discussão se vale da figura 11, em que plotam-se pares ordenados compostos pela importância relativa e pelo desempenho relativo do construto, correspondente ao percentual obtido do máximo desempenho possível. Como todos os construtos tiveram desempenho acima de 50% e importâncias relativas até 40%, limitou-se a avaliação a estas faixas.

Na região de carência têm-se construtos de alta importância e baixo desempenho, que podem comprometer a competitividade. Na região de excesso têm-se construtos de baixa importância e alto desempenho, que podem estar desperdiçando recursos. Na região de

excelência têm-se construtos de alta importância e alto desempenho que criam vantagem competitiva. A região normal apresenta equilíbrio entre desempenho e importância. As zonas foram delimitadas por elipses cujas intersecções com os eixos ocorrem a um terço dos cantos do plano. Entende-se que esta seja uma variante da análise apresentada em Slack (1993).

A flexibilidade e o serviço associado ao produto estão próximos à região de excesso, enquanto que a tecnologia e a qualidade não estão na região de excelência. Uma indicação seria a de deslocar recursos de serviço e entregas para tecnologia e qualidade. A tecnologia requer melhoria no desempenho, enquanto que a qualidade requer ações mercadológicas que aumentem sua importância na indústria. Se os concorrentes não puderem acompanhar, a criação destes construtos de alta importância e alto desempenho pode ser um objetivo da manufatura, pois gerará uma vantagem competitiva na indústria. Custo e comunicação com clientes estão na região normal, o que é desejável, pois tratam-se de fatores apriorísticos.

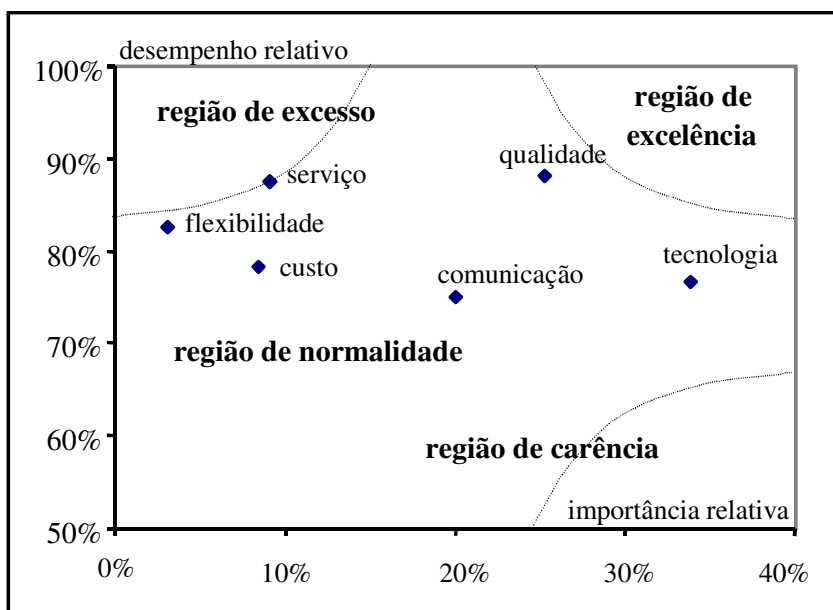


Figura 11: Análise bidimensional dos construtos de desempenho da empresa focal

Fonte: elaborada pelo autor

Finalizando a discussão, comenta-se que será necessário apor uma última camada à estrutura, composta por variáveis de medição direta na natureza, os indicadores. O ideal é que a cada conceito corresponda um indicador mutuamente exclusivo, que apreenda fisicamente as idéias contidas no conceito. Sabe-se, no entanto, que em situações complexas nem sempre é possível esta estanqueidade, podendo haver sobreposição entre variáveis (SAATY, 1991).

Cada indicador exige uma técnica de mensuração, composta por procedimentos de coleta de dados, organização das informações e um modelo de cálculo. Embora haja uma perda ao se expressarem conceitos intangíveis por indicadores, estes, se agregados em um único valor, passam a representar um elo de realimentação da situação complexa em que a empresa focal opera. Na aplicação do capítulo 5 a camada de indicadores será desenvolvida.

Os indicadores podem ser obtidos diretamente de sistemas de informação integrados, geralmente disponíveis nas empresas, ou podem requerer modelos, como o do capítulo 4.

3.3 Resumo do método e considerações finais ao capítulo

Após a discussão e aprendizado, resumem-se os achados de pesquisa:

- Dada uma empresa focal em uma indústria, caracterizar o objeto a avaliar, o desempenho de competição da manufatura na indústria;
- Convidar participantes com conhecimento empírico, trajetória de sucesso na indústria e capacidade de argumentação e articulação para participar de um grupo focado;
- Identificar e descrever a atual estratégia de manufatura, certificando-se que é conhecida dos participantes;
- Conduzir um grupo focado, com o objetivo de chegar a uma arborescência que descreva o objeto a avaliar com o menor sombreamento possível entre conceitos;
- Com o auxílio de um método de apoio à decisão, ponderar a arborescência atribuindo importâncias relativas aos seus elementos;
- Transformar a arborescência em questionário e aplicar aos membros do grupo, chegando a um valor global para o estado do objeto (aqui ocorre uma inversão no método original);
- Testar os respondentes e as respostas pelo alfa de Crombach, eventualmente atuando com respondentes e questões e reaplicar o questionário até apresentar confiabilidade; e
- Analisar o desempenho de construtos e conceitos, identificando lacunas de desempenho.

No próximo capítulo prossegue a contribuição empírico-teórica desta tese.

4 MODELAGEM DE PARÂMETROS DE MANUFATURA

O objetivo deste capítulo é propor e testar um modelo para a medição de parâmetros de manufatura que serão usados no passo 3 da metodologia proposta por esta tese: o tempo de atravessamento, o inventário e o desempenho médios. Outros parâmetros serão tratados no capítulo 5. O desenvolvimento do capítulo 3 é usado no passo 2 da metodologia. O modelo é necessário porque os parâmetros não são de medição direta e medem o desempenho de objetivos de uma estratégia de manufatura. O modelo se centra no tempo de atravessamento de ordens de fabricação e dele se originam os demais parâmetros.

4.1 Tempo de atravessamento e controle de manufatura

Atividades e técnicas relacionadas com o planejamento e o controle de manufatura podem ser integradas sob um sistema único, o *MPC (manufacturing planning control)*. O *MPC* fornece informações úteis para gerenciar o fluxo de material, o uso de recursos produtivos, coordenar atividades internas e com fornecedores e comunicar-se com clientes sobre seus requisitos, agindo como suporte na conexão da estratégia de manufatura com a estratégia geral (VOLLMANN; BERRY; WHYBARK, 1997).

Cox e Spencer (1998) creditam a Wight a identificação das cinco funções gerenciais reconhecíveis comuns a sistemas de gerenciamento de manufatura: (i) o programa mestre de produção (MPS – *Master Production Schedule*), que representa o plano de produção expresso em quantidades e datas; (ii) plano de prioridades, que determina que materiais são

necessários e quando; (iii) plano de capacidade, que determina a capacidade de produção requerida; (iv) controle de prioridades, que comunica as datas de início e conclusão das tarefas e o avanço das ordens em andamento; e (v) controle de utilização da capacidade, que mede o resultado da produção e compara com as capacidades planejadas, servindo como referência para ações de correção nos planos de produção ou nos recursos produtivos.

Uma das abordagens propostas para o planejamento e controle da manufatura é descrita compreensivamente sob o nome de *MRP (materials requirements planning)*. O *MRP* se vale da previsão de vendas e dos pedidos confirmados para gerar o programa mestre de produção e o planejamento da capacidade. O planejamento da priorização ocorre quando o *MRP* repassa os requisitos brutos de materiais, abate as partes existentes e já encomendadas e, considerando tempos de atravessamento e roteiros de fabricação pré-definidos, estabelece datas e quantidades, os requisitos líquidos de fabricação das estações de trabalho. Finalmente, o controle de prioridades e de capacidade ocorre quando o sistema realoca ou rearranja as capacidades segundo as informações de progresso das ordens (COX; SPENCER, 1998).

Informações sobre o progresso das ordens são realimentadas e comparadas com as datas devidas, fazendo com que o *MRP* reaja à comparação. Algumas das fraquezas apontadas por Wiendahl e Breithaupt (2001) são a falta de clareza sobre as variáveis a controlar, o desconhecimento de relações de causa-efeito que governam estas variáveis e o pressuposto que valores fixos podem descrever o tempo de atravessamento e o desempenho.

Outra abordagem para o planejamento e controle da manufatura é o controle da manufatura orientada pela carga (*load-oriented manufacturing control*). A abordagem controla o tempo de atravessamento de ordens em centros de trabalho admitindo tarefas no mesmo ritmo em que são concluídas. Caso se deseje obter um dado tempo de atravessamento médio, mantém-se um correspondente inventário médio em frente ao centro e ajusta-se o desempenho. Variando-se o inventário médio varia o tempo de atravessamento, segundo a curva logística, a relação da figura 12 entre inventário médio I_m , desempenho médio PE_m e tempo de atravessamento médio TL_m , que aponta a quantidade ótima de inventário a manter em frente ao centro de trabalho. Abaixo deste valor, para-se por falta de trabalho; acima deste valor o TL cresce sem crescimento do desempenho. As três grandezas relacionam-se na faixa superior da figura pela equação 7, a equação do funil (WIENDAHL, 1995).

$$TL_m = \frac{I_m}{PE_m}$$

Equação 7;

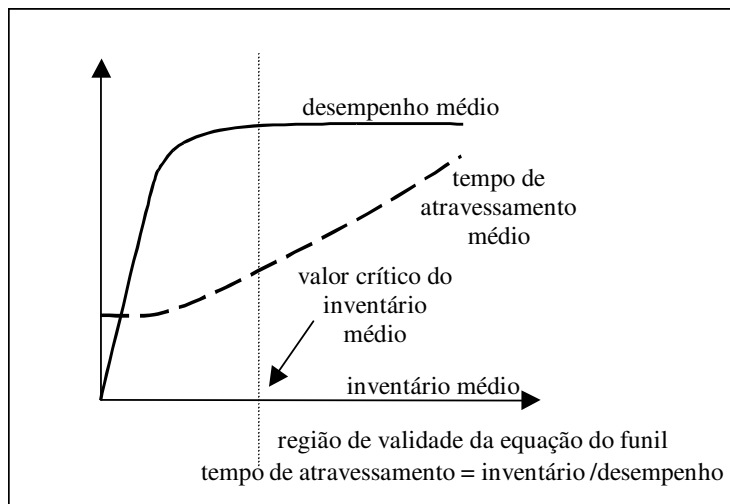


Figura 12: Curva logística de um recurso produtivo

Fonte: Wiendahl, 1995, p. 205

A medição do tempo de atravessamento se vale de ordens de fabricação, que reconhecem e registram a conclusão das etapas. Se o lote de transferência não corresponde ao lote de produção, com transferências parciais, o registro é feito a cada transferência física, gerando mais registros, ou a intervalos fixos de tempo. Em operações logísticas não integradas eletronicamente ou em processos contínuos, como na indústria química, o registro das transferências acumuladas a intervalos fixos é aceitável. Na figura 13 destacam-se por linhas pontilhadas os elementos da medição que ora irá se propor, em um eventual *MPC*.

É possível propor uma estrutura para a composição do tempo de atravessamento.

Segundo Tubino (1999), tempo de atravessamento é a medida do tempo que um sistema produtivo gasta para transformar matérias-primas em produtos acabados. O tempo de atravessamento é considerado de modo amplo, quando mede o tempo decorrido entre a solicitação do cliente e a entrega do produto, ou de modo estrito, quando mede as atividades individuais internas do sistema de fabricação. O autor identifica quatro componentes no tempo de atravessamento de fabricação: (i) tempo de espera, composto por tempos administrativos para a programação, tempos de espera em filas e tempos de espera até atingir o tamanho de lote; (ii) tempos de processamento, compostos por tempos de *set-up* e tempos de operações; (iii) tempos de inspeção; e (iv) tempos de transporte até a próxima atividade.

Wiendahl (1995) divide uma operação de fabricação em: (i) espera após o processamento na operação anterior; (ii) transporte até o centro de trabalho atual; (iii) espera em fila antes do processamento; (iv) tempo de preparação; e (v) tempo de processamento. O tempo de espera após a operação atual já é assinalado ao próximo centro de trabalho.

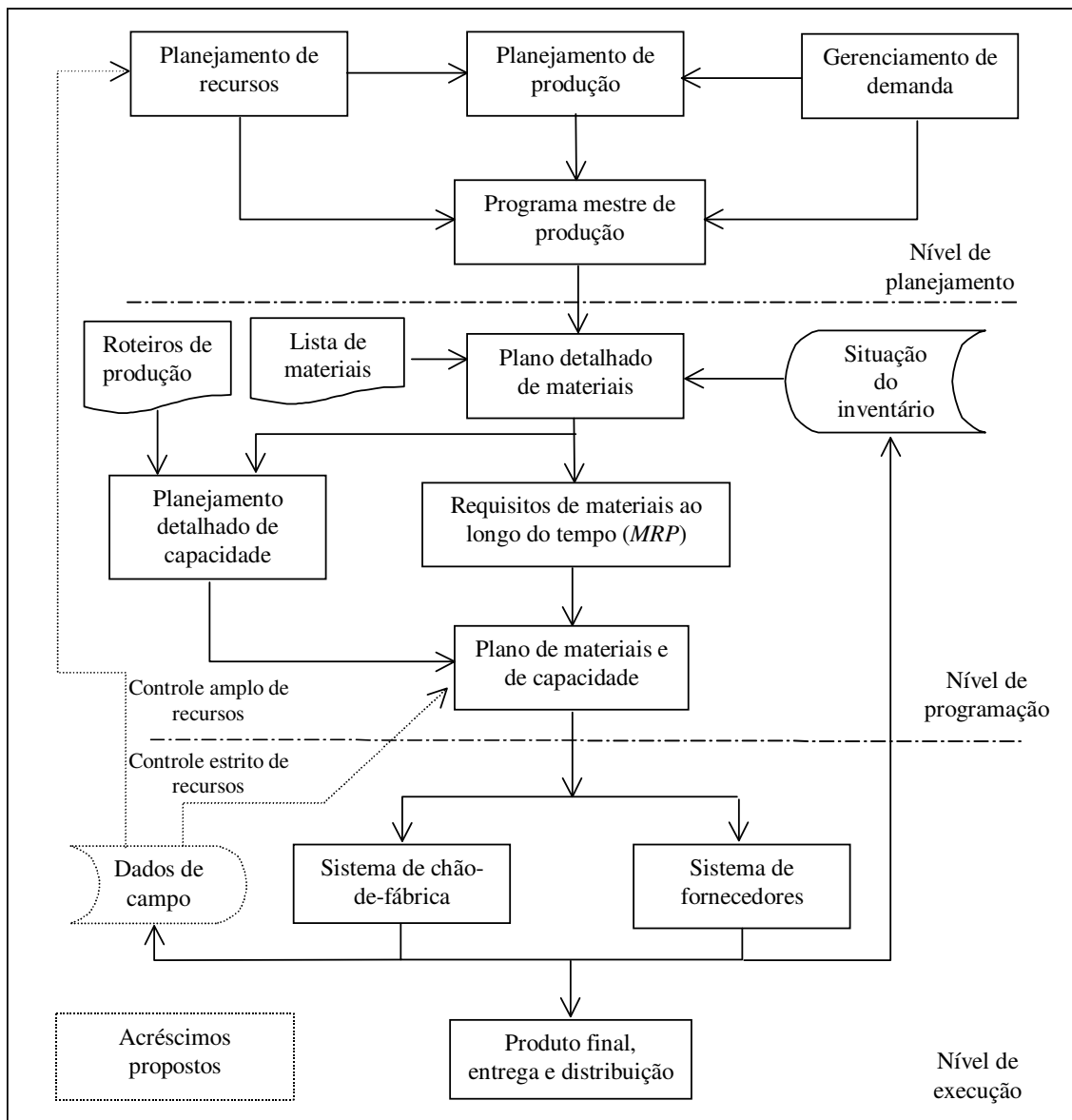


Figura 13: Inserção da proposta em um MPC existente

Fonte: adaptado de Vollmann; Berry; Whybark, 1997, p.166

Sendo a primeira operação, a contagem de tempo se inicia com a liberação da ordem, enquanto que nas demais a contagem se inicia com o fim da operação precedente. O tempo de preparação mais o tempo de processamento compõem o tempo operacional (*TOP*), enquanto que a soma dos demais tempos compõe o tempo interoperacional (*TIO*). A soma do *TOP* e do *TIO* formam o tempo de atravessamento da operação (*TL_i*), conforme a figura 14.

Heinemayer e Bechet (1982, apud WIENDAHL, 1995) usam elementos de resultado (*throughput element*) para representar o tempo de atravessamento de uma ordem de fabricação. O elemento de resultado simplificado é calculado diminuindo-se a data de

conclusão do centro de trabalho anterior da data de conclusão do centro atual, obtendo-se o tempo de atravessamento TL . O tempo de operação TOP é calculado multiplicando-se o tempo padrão unitário da operação pelo tamanho do lote e pela eficiência da operação, somando-se o tempo de preparação. O tempo inter-operacional TIO é obtido diminuindo-se o tempo operacional TOP do tempo de atravessamento TL .

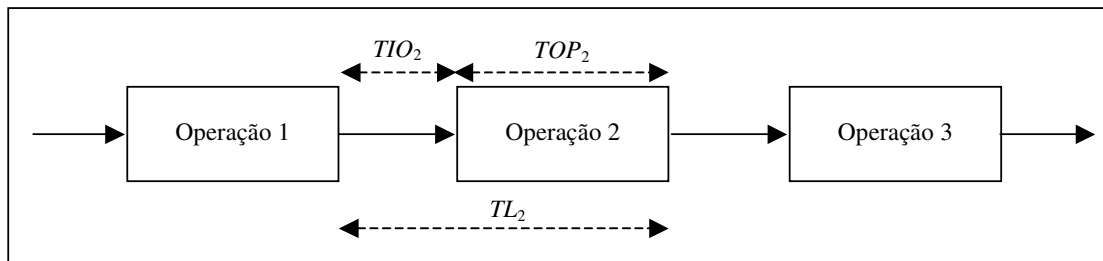


Figura 14: Estrutura do tempo de atravessamento

Fonte: adaptado de Wiendahl, 1995, p. 43

O elemento de resultado bidimensional agrega uma unidade de valor ao elemento simplificado. O valor do elemento de resultado é determinado pelo produto entre as duas dimensões e seu sentido físico diz respeito ao esforço requerido pela ordem de fabricação: quanto mais tempo foi usado e quanto maior a quantidade produzida, mais esforço de manufatura foi requerido. O tempo de atravessamento ponderado médio é o valor esperado para o tempo que uma atividade prevista para durar uma hora leva para atravessar o centro de trabalho em que a medição foi feita (WIENDAHL, 1995).

Na figura 15 apresentam-se os elementos de resultado simplificado e bidimensional. A unidade de valor UV ilustrada é a quantidade de horas estimadas para o processamento da operação (TO), mas outras unidades de valor, tais como a tonelagem, o volume ou a quantidade de peças previstas na ordem também podem ser usadas.

. O tempo de atravessamento de um dado centro de trabalho é uma variável aleatória cuja variabilidade é causada pela variabilidade intrínseca dos seus componentes e pela variação no tamanho da ordem.

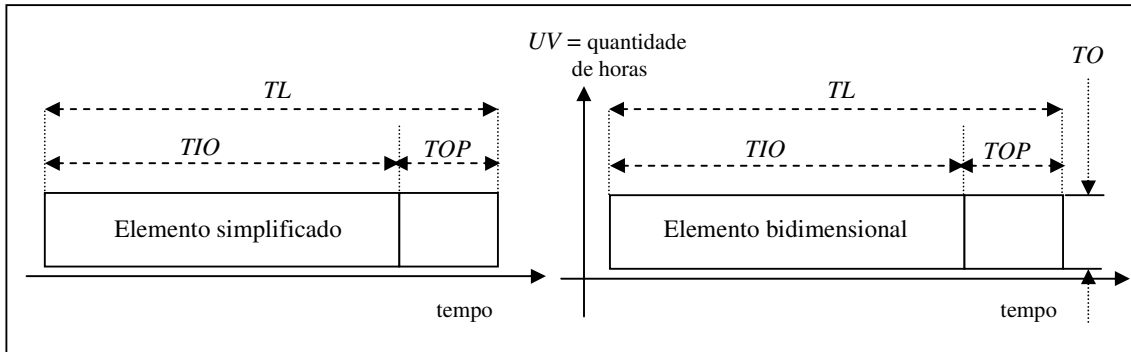


Figura 15: Elementos de resultado simplificado e bidimensional

Fonte: adaptado de Wiendahl, 1995, p. 43

O tempo de atravessamento simples médio é a média aritmética dos valores individuais dos tempos de atravessamento de ordens. O tempo de atravessamento ponderado médio considera também o tempo de operação específico de cada ordem. Nas equações 8 e 9 se têm as expressões para os tempos de atravessamento simples médio (TL_m) e tempos de atravessamento ponderado médio (TL_{mw}) para um centro de trabalho, em que TL_i e TO_i são respectivamente os tempos de atravessamento e tempo operacional da operação i . O TL_{mw} é, geralmente, suficiente para realimentar melhorias em processos e ações de controle estratégico, tais como modificações na capacidade produtiva (WIENDAHL, 1995).

$$TL_m = \frac{\sum_{i=1}^n TL_i}{n} \quad \text{Equação 8;}$$

$$TL_{mw} = \frac{\sum_{i=1}^n TL_i \cdot TO_i}{\sum_{i=1}^n TO_i} \quad \text{Equação 9;}$$

É possível estender esta conceituação para uma ordem de fabricação completa através do elemento de resultado da ordem (*order throughput element*). O tempo de atravessamento total passa a ser o tempo decorrido entre o momento de entrada da ordem e a saída do produto acabado do sistema produtivo. Neste caso, o tempo operacional total da ordem é a soma de todos os tempos operacionais parciais, obtidos pela soma dos tempos de preparação com os respectivos tempos de processamento das operações. Na figura 16 representa-se o elemento de resultado de uma ordem de três operações (WIENDAHL, 1995).

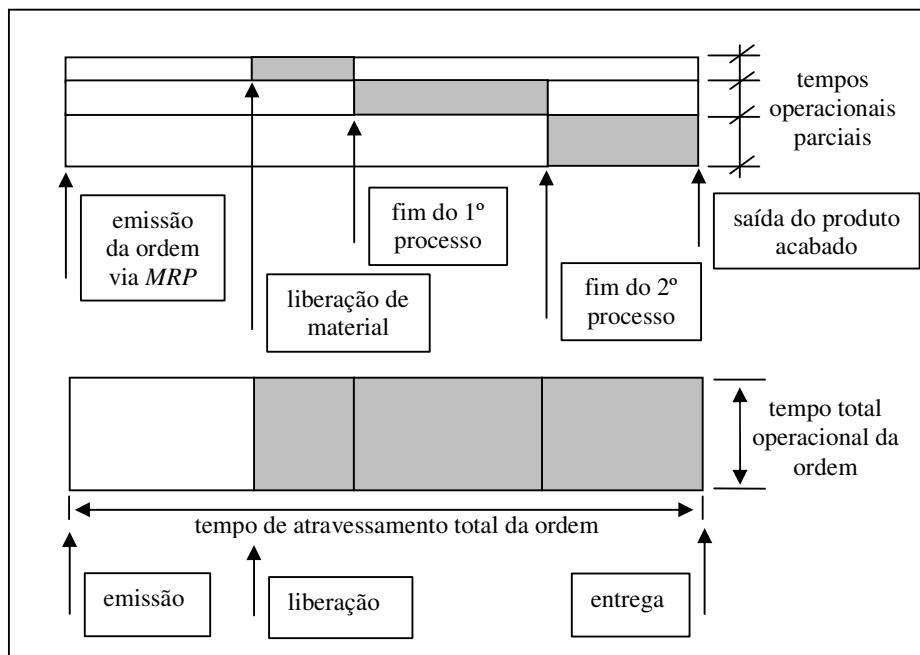


Figura 16: Elemento de resultado da ordem de fabricação

Fonte: adaptado de Wiendahl, 1995, p. 122

4.2 Modelo do funil e arranjos produtivos

O modelo do funil (*funnel model*) é apresentado em Plossl (1985) e retomado por Wiendahl (1995) para propor sua metodologia de controle de produção orientado pela carga. O modelo compara um sistema produtivo com um funil no qual passam as ordens de fabricação. O ritmo de saída do funil é o desempenho, determinado por sua seção; o ritmo de entrada no funil é o ritmo de chegada de ordens ao sistema; o conteúdo do funil é o inventário, as ordens de fabricação pendentes, e é determinado pelo conteúdo inicial mais a diferença entre os ritmos de entrada e de saída. O funil pode representar uma máquina, um grupo de máquinas ou uma fábrica completa, desde que o arranjo não varie no intervalo de análise. A figura 17 apresenta um centro de trabalho representado pelo modelo do funil.

Um sistema produtivo pode ser descrito por um conjunto de funis e interligações. Parâmetros de processo, tais como o tempo de atravessamento e o inventário em processo, podem ser medidos ou calculados, servindo como variáveis de realimentação para objetivos de produção. É possível usar conceitos da teoria dos sistemas para analisar funis produtivos.

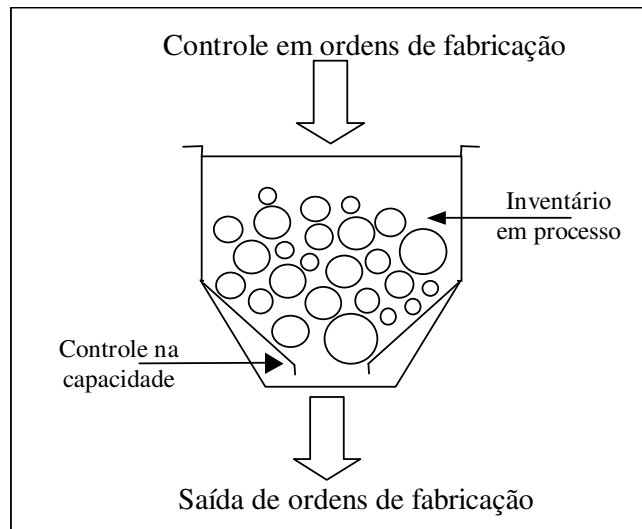


Figura 17: Centro de trabalho conforme o modelo do funil

Fonte: Wiendahl, 1995, p. 47

Controla-se a entrada do funil regulando o ritmo de liberação de ordens de fabricação. A matéria-prima pode ser retida na armazenagem, sendo liberada por um controlador de produção. Caso os centros de trabalho processem materiais de diversas ordens, classificam-se estas em A, B e C, conforme a quantidade de unidade de valor. Controlando-se as ordens A e B é possível obter um fluxo contínuo e suave através do funil. Se os centros requerem preparação, pode ser útil liberar as ordens na seqüência que as minimize (PLOSSL, 1985).

Controla-se a saída do funil pela capacidade de produção. O desempenho médio pode ser aumentado pela alocação de capacidade adicional ao ativarem-se funis inativos ou deslocar-se capacidade ociosa de funis sub-ocupados. A variabilidade do desempenho é reduzida ao reduzirem-se as interrupções por manutenção, refugo ou retrabalho.

O diagrama de resultados (*throughput diagram*) é explorado por Wiendahl (1995) e se origina na representação gráfica de processos de filas de espera, apresentada em Kleinrock (1975). A coordenada vertical representa a unidade de valor, enquanto que a coordenada horizontal representa as datas de entradas e saídas. A curva de entrada é obtida determinando-se a quantidade de trabalho que está na fila de espera no início do período de referência, o inventário inicial, e adicionando-se os trabalhos que entram, em horas-padrão ou em outra unidade de valor, nos respectivos momentos de entrada, até o fim do período de referência. A curva de saída é traçada através da adição das ordens completadas, na mesma unidade da entrada, nas respectivas datas de saída. No final do intervalo tem-se o inventário final. Se esse inventário for entendido como o inventário inicial do próximo período de referência, o

diagrama do resultado apresenta-se como uma descrição contínua e instantânea de um funil, em uma estrutura de janela móvel.

A figura 18 mostra um diagrama de resultado, em que *INP* e *OUT* representam o total de trabalho admitido e concluído no período de referência *P*. A curva à esquerda registra os valores acumulados de entrada de trabalho, assinalados às datas de entrada. A curva à direita registra os valores acumulados de saída de trabalho. A área interna às curvas, hachurada, representa o esforço bidimensional de produção exercido pela manufatura, pois é proporcional à unidade de valor processada e ao tempo gasto no processamento das ordens.

Para um instante de tempo arbitrário *t*, a distância vertical entre as curvas é o inventário existente na operação naquele instante, enquanto que a distância horizontal é o tempo de atravessamento de uma ordem infinitesimal que estivesse saindo do centro de trabalho naquele instante. Como as ordens e as grandezas são discretas, pode ser de interesse trabalhar com os valores médios do tempo de atravessamento e do inventário, representados pelas distâncias médias entre as curvas de entrada e de saída no período de referência.

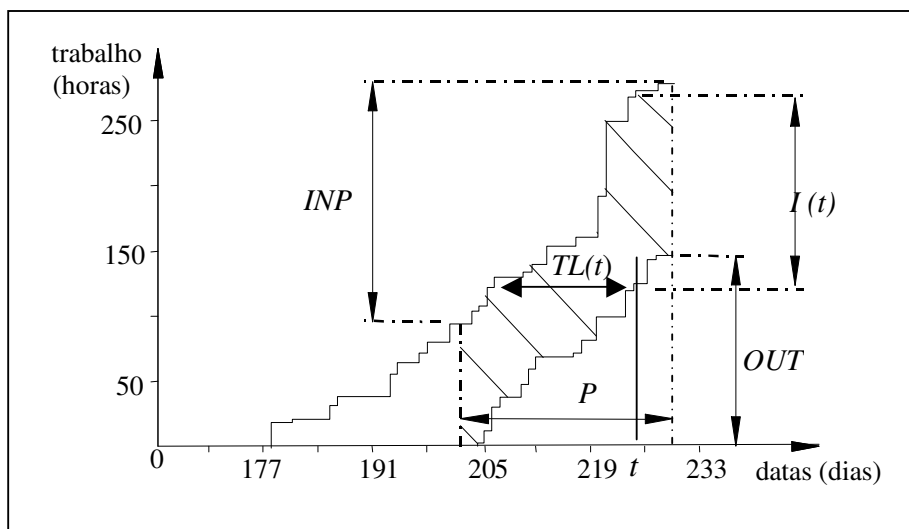


Figura 18: Diagrama de resultados em um funil produtivo

Fonte: Wiendahl, 1995, p. 99

4.2.1 Variáveis de estado e relações entre funis

É possível atribuir variáveis de estados a funis. Observam-se na tabela 16 dois tipos de variáveis de estado em funis, as antecessoras, fixadas segundo critérios objetivos na etapa de planejamento da operação, e as sucessoras, resultantes da operação, só conhecidas após a análise. Sugere-se na tabela uma simbologia para as variáveis.

A tabela inicia apresentando a unidade de valor, UV, empregada na medição do resultado e usada na coordenada vertical do diagrama de resultados. A UV pode ser adimensional, como o percentual de um plano de produção, ou dimensional concreta ou abstrata. Unidades concretas são mensuráveis, do tipo mássicas (kg, toneladas, etc), volumétricas (m³, litros, etc) ou contáveis (número de tarefas, número de peças, etc.). Unidades abstratas resultam da atribuição de valor, tais como as UEP's (unidades de esforço de produção) ou de cálculo, tais como valores econômicos ou financeiros dos materiais.

A figura 19 organiza e resume relações entre as unidades de valor. Na tabela 17 se resumem classes de sistemas produtivos e se sugerem unidades de valor, fornecendo uma orientação inicial que não esgota o assunto.

Outras variáveis antecessoras são as capacidades de conter inventário em espera de processamento e inventário já processado, o tipo de operação alocada, a capacidade nominal da operação alocada e a capacidade atual alocada. As variáveis sucessoras são o inventário, tempo de atravessamento, desempenho e autonomia do funil, associadas a um intervalo de tempo de análise, no qual seus valores formam séries numéricas. As séries podem ser tendenciais, aleatórias, sazonais ou ciclos de negócios. Como os dois últimos comportamentos, a sazonalidade e os ciclos de negócios, só têm sentido em intervalos de tempo maiores do que o intervalo de tempo típico de interesse, estes comportamentos serão excluídos deste trabalho. Não há, no entanto, objeção teórica a uma extensão a estes casos.

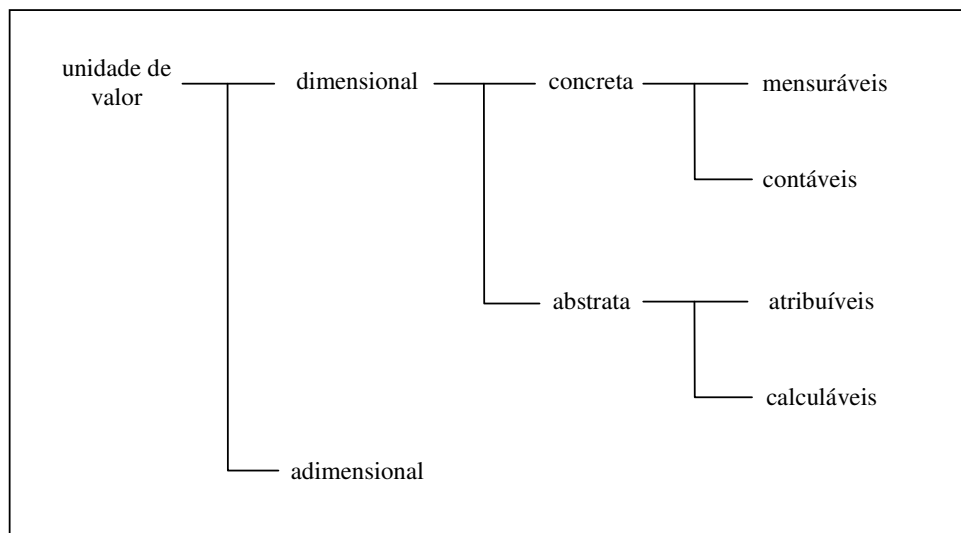


Figura 19: Organização hierárquica da unidade de valor em funis produtivos

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 16 - Variáveis de estado de funis produtivos

simbologia	unidade de medida	descrição da variável	tipo	domínio da variável
UV	unidade de resultado	Como será medido o resultado do funil	Catégorica nominal	Nº de tarefas, volume, toneladas, etc.
<i>CIa</i>	UV	Capacidade de conter inventário em espera por processamento	Contínua	Números reais positivos
<i>CI d</i>	UV	Capacidade de conter inventário já processado	Contínua	Números reais positivos
<i>AO</i>	nome	Tipo de operação alocada	Catégorica nominal	Todas as operações realizáveis no funil
<i>CPn</i>	UV por unidade de tempo	Capacidade nominal de execução da operação alocada	Contínua	Números reais positivos
<i>CPa</i>	UV por unidade de tempo	Capacidade atual de execução da operação alocada	Contínua	Números reais positivos
<i>Ie</i>	UV	Inventário atual local, em espera	Contínua	Números reais positivos
<i>Ip</i>	UV	Inventário atual local, já processado	Contínua	Números reais positivos
<i>TLw</i>	unidade de tempo	Tempo de atravessamento ponderado atual	Contínua	Números reais positivos
<i>PE</i>	UV por unidade de tempo	Desempenho atual de processamento	Contínua	Números reais positivos
<i>R</i>	unidade de tempo	Autonomia, tempo que o funil opera sem novas chegadas	Contínua	Números reais positivos

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 17 - Relação entre as tipologias de sistemas produtivos e a unidade de valor

critério	classe	unidade de valor	exemplo
grau de padronização do produto	padronizados	unidades, UEP's toneladas, m ³	indústrias química e manufatureira, <i>fast-food</i>
	sob encomenda	toneladas, horas de trabalho, valores financeiros	construção de máquinas, aeronáutica, civil e naval
tipo de operação	contínua	toneladas, m ³ , energia	indústria química, petroquímica, siderúrgica
	repetitiva em massa	toneladas, horas de trabalho, UEP's, valores financeiros	indústria metal-mecânica, eletro-eletrônica
	repetitiva em lotes	unidades, horas de trabalho, UEP's, valores financeiros	indústrias manufatureiras mecânica, calçadista, têxtil e eletrônica
	por projeto	toneladas, horas de trabalho, valores financeiros	construção de máquinas, aeronáutica, civil e naval
natureza do produto	bens materiais	unidades, horas de trabalho, UEP's toneladas, m ³ , energia	fabricação em geral
	serviços	unidades, horas de trabalho, UEP's, valores financeiros	prestação de serviços em geral

Fonte:elaborada pelo autor com base na classificação de Tubino, 1997, p. 29

4.2.2 Conexões e simplificações em arranjos de funis

É possível a simplificação de arranjos produtivos representados por funis. Para tanto é conveniente representar um sistema de funis produtivos através de grafos. Um grafo $G = [V, A]$ é composto por vértices conectados por arestas. Se a conexão for unidirecional, as arestas se tornam arcos (BOFFEY, 1984). Os vértices representam os funis e os arcos representam a direção e o sentido das transferências. Cada vértice recebe um rótulo no qual constam as variáveis de estado de interesse, tais como capacidades e desempenhos. Os vértices são classificados conforme seus arcos. Um vértice é um processador se em sua entrada chega apenas um arco e uma montagem se em sua entrada chegam dois ou mais arcos. Neste caso o vértice é convergente. Um vértice será divergente se sua saída alimentar dois ou mais vértices.

Cox e Spencer (1998) classificam arranjos de manufatura em V, A, T e I, aludindo aos formatos das respectivas letras. Slack et al. (1997) adicionam o formato X. Em arranjos V, os materiais já processados abrem-se em divergências. Em arranjos A, materiais já processados fecham-se em convergências. Em arranjos T, os materiais seguem uma seqüência linear até a última operação, a qual gera diversos produtos. Finalmente, em arranjos I, os processos se sucedem em conexões seriais e os materiais se transformam em seqüência. Na figura 20 apresentam-se arranjos típicos de manufatura, em que se observam os arranjos primitivos.

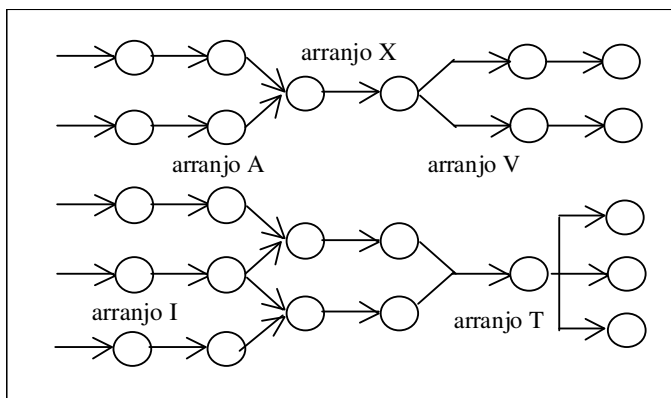


Figura 20: Exemplos de arranjos de manufatura

Fonte: elaborada pelo autor

Os demais formatos podem ser reduzidos ao formato I. Uma convergência pode ser transformada em uma série somando-se o inventário dos processos a montante do processo focal e tomando-se como tempo de atravessamento o maior tempo individual de um ramo a montante. Uma divergência se transforma em série dividindo-se o processo focal em tantos processos quantos sejam os ramos resultantes da conexão. O inventário e o tempo de atravessamento dos processos resultantes são obtidos segregando-se as operações do processo focal conforme seu destino. A figura 21 ilustra o processo de simplificação. A formalização das simplificações e a proposição de uma álgebra de funis são remetidas à continuidade das pesquisas. Nesta tese considera-se apenas o formato I.

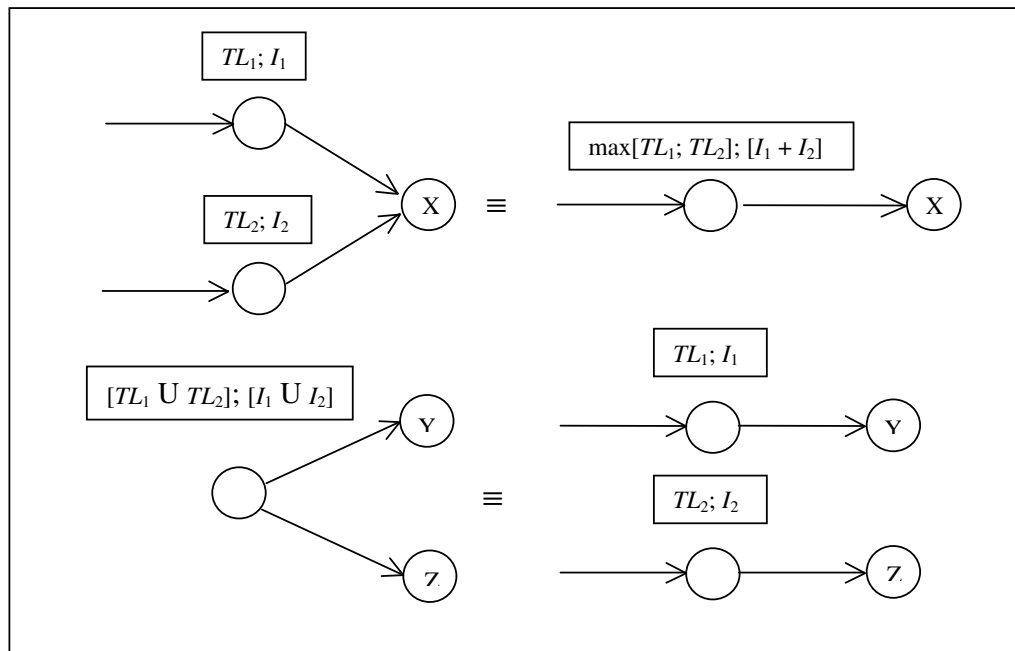


Figura 21: Transformações simplificadoras em arranjos produtivos

Fonte: elaborada pelo autor

4.2.3 Soma de variáveis aleatórias em funis

Após a simplificação do arranjo produtivo, é necessário calcular a série de valores das variáveis controladas. Como se considera o arranjo I, uma variável de controle tal como o tempo de atravessamento será a soma dos tempos parciais. Caso se tenha uma política definida de liberação de ordens, o tempo de atravessamento será dependente como, por exemplo, tendencial. Neste caso usa-se o método das regressões por mínima soma de quadrados para se obter uma expressão analítica para cada parcela. O método é tratado na literatura, sendo apresentado compreensivamente em Bussab (1988) e em Spiegel (1975).

Caso não haja política de liberação de ordens, as variáveis podem resultar aleatórias. Variáveis aleatórias podem ser descritas por parâmetros calculáveis a partir de amostras, tais como os momentos, ou por expressões analíticas derivadas de modelos. Neste caso são necessários testes de ajustes, nos quais, sob certos critérios de aceitação e sob certos nível de significância, identificam-se modelos que não possam ser descartados para descrever a população de origem. Caso não se descarte mais de um modelo, usa-se o conhecimento prévio sobre o fenômeno ou o nível de significância dos testes.

Ao menos três métodos surgem na literatura para somar variáveis aleatórias: o método do teorema do limite central, o método dos momentos e a simulação computacional.

Segundo Hahn e Shapiro (1967), existem diversos teoremas do limite central (*central limit theorem*). Um destes teoremas enuncia que a distribuição da média de n observações independentes, extraídas de qualquer distribuição ou de n diferentes distribuições, com média e variância finitas, aproxima-se de uma distribuição normal à medida que o número de observações cresce. O resultado independe da distribuição de cada um dos n elementos da amostra. Apesar deste teorema do limite central tratar com amostras grandes, a média das amostras tende a uma distribuição normal mesmo para n pequeno se nenhum elemento possuir uma variância dominante e se as distribuições não se afastarem muito da normal. Se uma variável aleatória representa o efeito total somado de muitas pequenas causas independentes, o teorema do limite central enuncia que é lícito esperar que a distribuição desta variável seja normal. Segundo o teorema do limite central, o valor esperado e a variância da soma de n variáveis aleatórias independentes são obtidos pela soma dos n valores esperados e variâncias. A convergência do método é maior quanto maior for n e quanto menos discrepantes forem as variâncias. A independência das parcelas será maior em processos sob controle estatístico. Correlações surgem se desvios em uma variável ocasionarem desvios nas variáveis seguintes.

A teoria da amostragem e as expressões para a média, a variância e o intervalo de confiança para a média amostral são apresentados em Spiegel (1975).

O método da geração de momentos é uma extensão do método do teorema do limite central. No método do teorema do limite central admite-se o modelo normal e calculam-se o primeiro e segundo momentos, a média μ e a variância μ_2 . O método da geração de momentos considera que, como n é finito, é possível que a convergência ao modelo normal não seja completa. O método corrige o modelo normal acrescentando dois outros momentos centrais, a distorção (*skewness*) μ_3 e a curtose μ_4 .

De posse dos quatro momentos, o modelo lança mão de tabelas da distribuição empírica de Pearson, que corrige os percentis mais extremados. A distorção e a curtose são afetadas pelas escalas, sendo conveniente usar os índices β_1 e β_2 , as distorções e curtoses padronizadas em relação à dispersão da distribuição. Expressões para β_1 e β_2 são encontradas em Hahn e Shapiro (1967). Duas variantes de cálculo para μ_3 e μ_4 são apresentadas em Hahn e Shapiro (1967), para dados correlacionados e não-correlacionados.

Finalmente, por simulação computacional, é possível simular diversas distribuições, chegando-se a uma distribuição empírica de suas somas. A técnica exige testes de ajustes das

parcelas a distribuições e chega a uma distribuição empírica final através de rodadas replicáveis que simulem o comportamento da variável soma. À medida que o número de repetições cresce, pela lei dos grandes números, a média das soma dos n valores se aproxima da variável soma das n variáveis (SPIEGEL, 1975).

A simulação constrói um modelo matemático simplificado que, submetido a diversos cenários, oferece uma antevisão do resultado de cursos de ações pretendidos. A simulação computacional é uma técnica de pesquisa operacional, pois cria uma representação de uma parte do mundo real. Experimentos virtuais predizem o que ocorrerá na realidade e respondem a questões do tipo "o que aconteceria se...?" (PIDD, 1998; LAW; KELTON, 1991).

Para este tese é suficiente o uso do método Monte Carlo (HAHN; SHAPIRO, 1967):

- Com o apoio de testes não-paramétricos, tais como os testes do qui-quadrado, de Kolmogorov-Smirnoff ou de Anderson-Darling, encontram-se as distribuições de probabilidade das n variáveis componentes;
- Com o apoio de um gerador de números aleatórios e conhecendo a distribuição de probabilidade da variável, gera-se um valor para cada uma das n variáveis;
- Somam-se os n valores e armazena-se o resultado;
- Repete-se o procedimento muitas vezes: pela lei dos grandes números, a média das somas dos n valores se aproxima da variável soma das n variáveis; e
- Sumarizam-se os resultados, observando sua distribuição, calculando os momentos e intervalos de confiança para a média amostral da variável.

As operações de ajuste de distribuições e de geração de números aleatórios podem ser realizadas com a ajuda de softwares especialistas. Planilhas eletrônicas também são usadas na geração de números aleatórios, se bem que haja críticas quanto à aleatoriedade do gerador intrínseco do software Excel® (MCCULLOUGH; WILSON, 2002).

Deseja-se verificar se o gerador de números aleatórios do Excel® pode ser usado neste trabalho. Amostras de mil números geradas pelo Excel® e por um dos geradores apresentados em Pidd (1998, pg. 174) foram comparadas. Quatro testes foram feitos: (i) diagrama de dispersão (x_i, x_{i+1}); (ii) histograma; (iii) ajuste dos primeiros cinquenta números a uma distribuição uniforme, pelo teste não-paramétrico do qui-quadrado, pelo software StatFit 2; e (iv) classificação dos mil números em cinco categorias de alcance 0,2 e teste do qui-quadrado para independência da distribuição. Os testes gráficos apresentaram resultados equivalentes entre as duas amostras. O teste do qui-quadrado apontou um valor- p de 66% para o gerador de

congruência e um valor- p de 52% para o gerador do Excel®. O teste do qui-quadrado para as cinco categorias, apresentado na tabela 18, apontou que a amostra gerada pelo Excel® tem mais independência em relação às categorias (58%) do que a amostra gerada pelo gerador de congruência. Este teste aponta a probabilidade de que a distribuição da amostra não difira com uma dada significância da distribuição esperada. Um último teste apresentado em Pidd, (1998, pg. 179) também foi conduzido. Os mil números foram classificados em três categorias, resultando nove categorias para as duplas $(x_i; x_{i+1})$. Testou-se a uniformidade da distribuição das duplas pelo teste do qui-quadrado, que resultou em uma probabilidade de 58% para o Excel® e 41% para o gerador de congruência, ambas aceitáveis.

Como o gerador de números aleatórios do Excel® não se mostrou inferior ao gerador multiplicativo de congruência, e este é considerado adequado para a aplicação, mantém-se o uso do gerador do Excel®. Usou-se o software ProConf® para o ajuste de distribuições.

Tabela 18 - Comparação entre geradores de números aleatórios

Categorias de números	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0	Qui- quadrado	Teste-qui
gerador do Excel	195	184	202	217	202	2,89 (observado)	0,58
gerador de congruência ($X_0=10$) $X_{i+1} = 397.204.094 * X_i \pmod{2^{31-1}}$	193	184	189	211	223	5,38 (observado)	0,25
valor esperado	200	200	200	200	200	9,49 (5%) (tabelado)	

Fonte: elaborada pelo autor

4.2.4 Ações de controle em arranjos de funis produtivos

A gestão por malha fechada de um sistema produtivo alterna medições e ações de controle organizacional em um ciclo permanente. A uma medição se sucede uma ação de controle, que será sucedida por uma nova medição e assim por diante. O procedimento de medição recorre ao universo de resultados do sistema produtivo, do qual amostra as grandezas requeridas, comparando-as com seus objetivos. Se houver erro, este deve gerar ações de controle, se possível até a próxima medição, na qual sua eficácia será aferida.

Uma ação de controle organizacional pode ser resumida como: (i) realizar a leitura da situação, oferecida pela função medição; (ii) diagnosticar o porquê se chegou a esta situação;

e (iii) transformar a situação, aproximando-se da situação ideal. O enfoque se dá em duas graduações, estrita e ampla. O enfoque estrito visa a resolver desequilíbrios imediatos com ações de pouco alcance. Já o enfoque amplo visa a identificar fragilidades na estrutura de produção que comprometam o resultado global do sistema.

O enfoque estrito pode envolver a troca de programação, o apressamento de ordens, a retenção de recebimentos, a variação de tamanho de lotes, ações de manutenção ou inspeções de qualidade. As ações estritas podem ser decididas e executadas em ambiente fabril a partir de um sistema de informações que faça a leitura em tempo real da situação. Caso um sistema de informação de fabricação possa informar continuamente o tempo de atravessamento e o inventário em cada posto de trabalho e a sua tendência, é possível especificar que postos estão desequilibrados e determinar que ação imediata é requerida.

O enfoque amplo pode envolver a engenharia industrial, logística, processos e equipamentos, marketing de produtos e a gestão financeira, analisando questões como fabricar ou comprar de fornecedores e a gestão da cadeia de suprimentos. As ações amplas são decididas e executadas em ambiente gerencial, a partir de uma base de dados e de conhecimento acumulada pelo sistema de informações. Caso um sistema de informação seja capaz de acumular e relacionar resultados, gerando conhecimento estruturado sobre a logística de produção, poderia fundamentar ações de longo prazo, como, por exemplo, mudanças na estrutura de produto, de processo e na própria logística de produção.

O processo de controle é, portanto, composto por duas funções: a medição e o controle. A função medição é composta pela amostragem da grandeza e cálculo das agregações para a interpretação do resultado e pela acumulação das medições, gerando conhecimento acerca da variável. A função controle interpreta as medições e os cálculos e define correções de curto prazo, locais e não-estruturais. No longo prazo, a função controle interpreta as informações acumuladas e suporta ações de transformação estrutural da realidade. Na figura 22 se tem um diagrama em malha fechada que ilustra a integração das funções medição e controle.

Na figura 23 há uma sugestão de tela de um sistema de informação capaz de apoiar decisões de controle imediato. Trata-se de um diagrama de resultados múltiplo, que apresenta sinoticamente a medição contínua dos tempos de atravessamento e dos inventários parciais que compõem o tempo de atravessamento e o inventário total. Foram acrescentadas ao diagrama linhas retas médias que servirão de base para a análise.

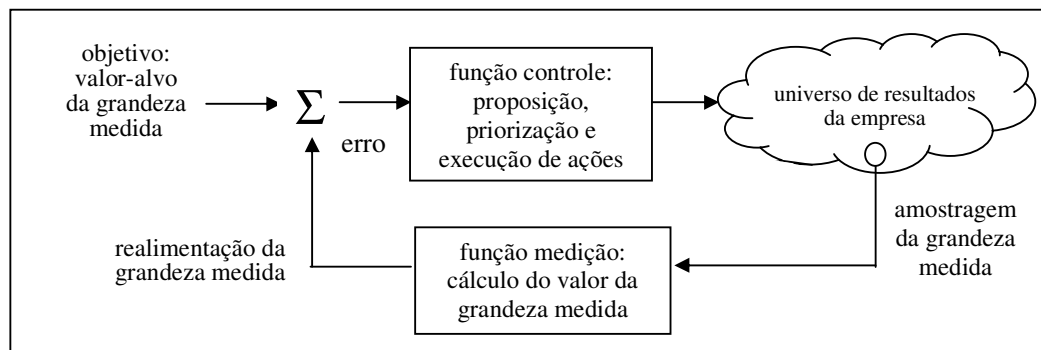


Figura 22: As funções medição e controle organizacional por malha fechada

Fonte: elaborada pelo autor

A interpretação da figura 23 sugere conclusões. O processo A produz um resultado levemente maior (entrada em B) do que seu abastecimento (entrada em A), perdendo levemente inventário. O processo B produz menos resultado do que seu abastecimento e seu inventário está aumentando (distância vertical entre as curvas de entradas em B e C). O processo C não aumenta nem reduz inventário (distância C-D). Finalmente o processo D está folgado, pois produz (entrada em E) em um ritmo muito maior do que é abastecido, reduzindo inventário e tendendo à ociosidade. O processo E é o recebimento do cliente final. Estas conclusões sugerem: (i) reduzir todas as capacidades para o nível de produção de B (entradas em C) e reduzir o ritmo de liberação de ordens em A; ou (ii) sincronizar as capacidades de produção com o atual ritmo de liberação de ordens, as entradas em A.

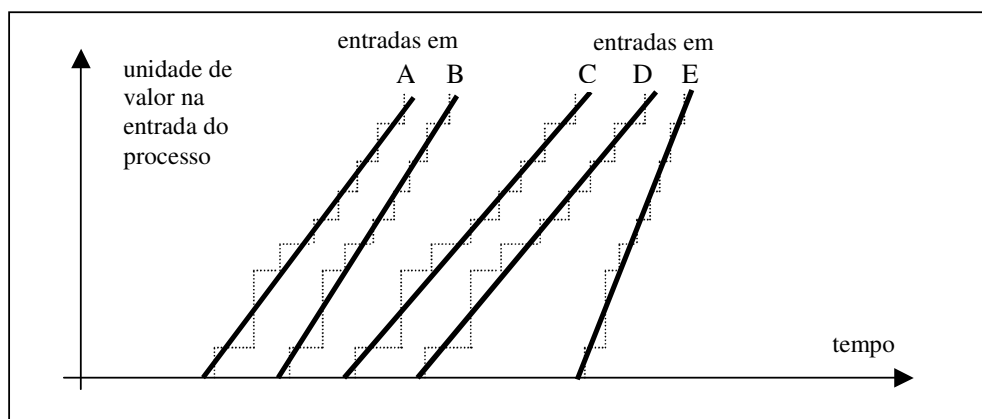


Figura 23: Tela do sistema de informação para ações de controle estrito

Fonte: elaborada pelo autor

Para o controle amplo é necessária a construção de bases de dados e de conhecimentos. Esta base pode ser tão simples quanto um banco de dados no qual se registrem os produtos

programados para fabricação, a seqüência de fabricação, os tempos de atravessamento e inventários totais obtidos, as parcelas destes tempos e inventários, as variabilidades das grandezas e se estabeleçam classificações dos funis. As medições podem ser: (i) quais as distribuições de probabilidade dos tempos de atravessamento e inventário de cada produto; e (ii) quais as combinações de produtos que produziram os maiores tempos de atravessamento e inventário. As classificações podem ser por: (i) percentual e distribuições de tempo em que cada funil produziu o maior tempo de atravessamento ou inventário; e (ii) percentual de tempo e distribuições que cada funil teve a maior variabilidade nas grandezas.

O funil que detiver por mais tempo o maior tempo de atravessamento é candidato a uma intervenção estrutural que inclua aumento de capacidade. O funil que detiver por mais tempo a maior variabilidade é candidato a uma intervenção estrutural que inclua aumento da disponibilidade de equipamentos ou modificações na gestão da qualidade. Também se podem considerar modificações no projeto do produto, eliminando ou modificando operações mais suscetíveis ao erro ou que sobrecarreguem equipamentos.

A figura 24 apresenta uma possível tela de um sistema de informação para apoio a ações de controle amplo. Dado um período, o sistema ofereceria, para cada funil, informações agregadas de tempo de atravessamento e inventário: (i) o valor esperado e a dispersão por produto ou grupo de produtos; (ii) as contribuições percentuais de cada funil às grandezas globais; e (iii) os funis de maior contribuição à media e à variabilidade das grandezas.

4.3 Desenvolvimento da pesquisa: metodologia e aplicação

A pesquisa deste capítulo também é do tipo exploratória. A questão de pesquisa é: como medir e controlar o tempo de atravessamento em um sistema de manufatura? Como no capítulo 3, chega-se ao estudo de caso e à abordagem quantitativa. A premissa de pesquisa é: tempos de atravessamento não são valores fixos, podendo-se chegar a expressões analíticas ou a intervalos de confiança para o seu cálculo.

Um estudo de caso foi realizado em uma empresa metal-mecânica, em que a liberação de ordens de fabricação se concentra no início do mês, havendo novas liberações nos inícios das semanas. Chega-se a expressões tendenciais negativas para o inventário e o tempo de

atravessamento: estes saltam no início do período, decrescendo continuamente até a nova liberação. O caso é apresentado em Teixeira, Menezes e Sellitto (2004).

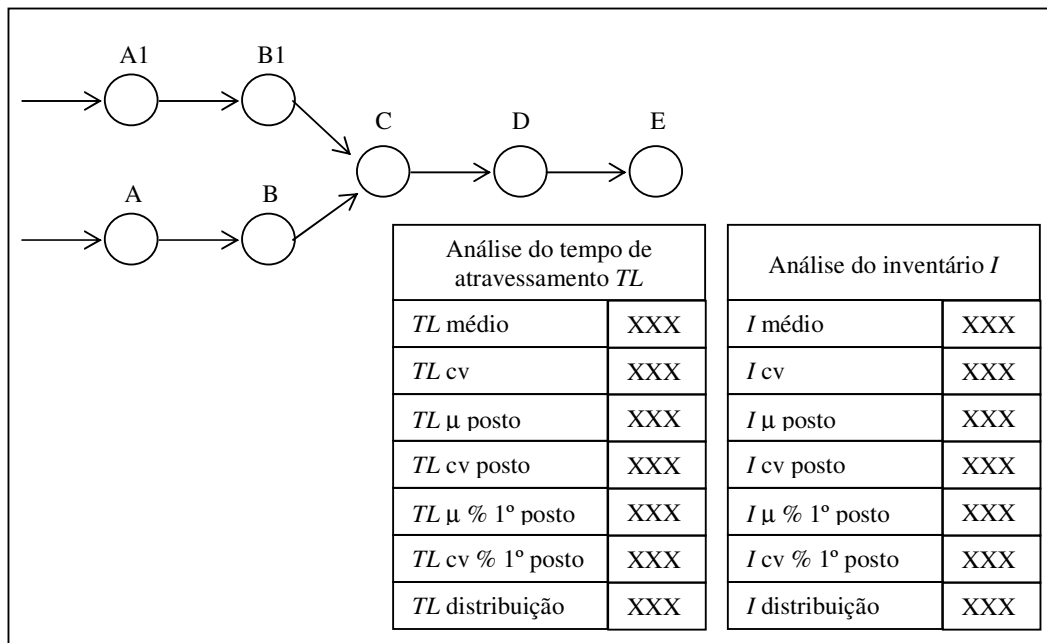


Figura 24: Tela do sistema de informação para ações de controle amplo

Fonte: elaborada pelo autor

Outro estudo de caso foi realizado em um sistema de manufatura calçadista. A empresa focal usa fornecedores e terceiros nas operações de organização, fabricação, logística de transporte e armazenagem. Há variedade no número e no tipo dos materiais requeridos e cada funil produtivo contém operações de transporte, inspeção de entrada, armazenagem, separação, processamento, inspeção de saída e disposição de sobras. A produção se dá em instalações próprias e em uma rede de fornecedores espalhados por uma região de cerca de cem quilômetros de raio. Inspeções visuais em busca de inventário excessivo contam menos do que informações processáveis por meios eletrônicos.

O sistema se centraliza na montadora de calçados. Não há prática definida para as liberações, o que faz com que as variáveis de saída sejam aleatórias. Fechado um pedido de cliente, o PCP abre uma remessa e emite as ordens de compras de materiais, conforme requerido pelo *MRP*. A remessa é a unidade de controle de produção, fabricando diversos produtos em várias numerações. À medida que chegam, os materiais são separados pelo produto a que pertencem. Formados os lotes de produção, ou ao menos uma parcela, o PCP libera-os para fabricação. Na expedição recompõe-se a remessa para embarque ao cliente. O

sistema de informações rastreia e acompanha cada remessa, oferecendo dados de transferências. O sistema de produção é classificado como repetitivo em lotes.

As operações são seqüenciais: (i) liberação de remessas, composta das tarefas administrativas de dividir os pedidos de clientes em lotes de fabricação, requisitar, comprar, receber, organizar e agregar em lotes, contratar serviços e seqüenciar as atividades; (ii) corte, realizado na fábrica; (iii) costura, realizada em ateliers da região; (iv) montagem, que compõe todos os materiais recebidos de terceiros com os materiais exclusivos da montagem, como adesivos; e (v) expedição, composta das tarefas de inspeção, embalagem, recomposição das remessas, inspeção final e despacho. Um grafo correspondente é apresentado na figura 25.

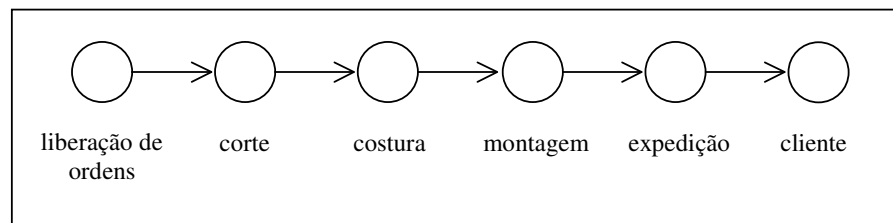


Figura 25: Grafo representativo do caso

Fonte: elaborada pelo autor

4.3.1 Informações da manufatura

Do sistema de informação da empresa foram obtidas as informações das transferências dos materiais de quinze remessas. A medição considerou o intervalo entre o fim do processo anterior e o fim do processo atual atribuindo, atribuindo ao processo posterior o transporte.

Na tabela 19 apresentam-se as quantidades totais de pares de calçados produzidos, o tempo operacional total previsto TO , os tempos de atravessamento simples TL de cada remessa em cada funil e total. Os tempos são dados em dias. Apresentam-se também o valor esperado μ , o desvio-padrão σ e o coeficiente de variação $cv = \sigma/\mu$. Ultrapassagens são possíveis: a remessa nº 5, por exemplo, apesar de ser a quinta a se iniciar, foi a primeira a ser concluída. Observa-se que uma expressiva parte do tempo é consumida em esperas. A primeira remessa, por exemplo, apresenta um tempo de atravessamento total de quarenta e seis dias e meio, apesar de seu tempo operacional previsto ser de apenas sete dias.

Na tabela 20 apresentam-se os tempos de atravessamento ponderados pela quantidade de pares TL_w , resultantes da multiplicação dos tempos de atravessamento simples TL pela quantidade de pares, os elementos de resultado bidimensionais. Os tempos de atravessamento médios TL_{wm} são calculados dividindo-se a soma dos TL_w pela quantidade total de pares produzidos. A unidade de valor é a quantidade Q de pares de calçados produzidos em cada remessa. Obtém-se o coeficiente de variação cv dividindo-se o desvio-padrão dos elementos de resultado por sua média. Uma tabela ponderada pelos tempos operacionais TO também foi obtida, apresentando-se apenas a tabela ponderada por quantidade.

Tabela 19 - Tempos de atravessamento simples das remessas

rem. n°	datas início	Quant. pares Q	TO total	TL liberação	TL corte	TL costura	TL montagem	TL expedição	TL total
1	0	10.100	7,00	11,00	1,00	14,00	8,50	12,00	46,50
2	1,5	19.400	13,50	12,90	15,00	16,00	9,50	7,50	60,90
3	3	11.400	7,00	13,80	3,70	15,00	3,50	14,00	50,00
4	5,5	16.100	10,75	16,20	16,00	16,00	8,90	16,00	73,10
5	10,5	10.200	8,50	8,90	1,80	5,80	1,80	4,00	22,30
6	12	18.500	13,00	4,30	10,00	18,70	14,50	13,30	60,80
7	21	14.300	10,75	19,40	6,00	18,70	8,30	5,50	57,90
8	25	10.700	8,50	11,00	14,00	12,00	13,40	8,50	58,90
9	27	19.600	13,50	8,14	18,00	8,00	16,30	14,80	65,24
10	28,5	11.000	7,50	21,00	5,00	16,00	7,40	4,00	53,40
11	30,5	7.300	4,75	5,67	13,00	19,00	2,00	8,70	48,37
12	31	14.700	9,75	15,60	9,00	15,00	5,00	5,50	50,10
13	36	15.500	10,75	13,10	8,00	10,00	19,00	9,00	59,10
14	40,5	11.400	8,00	14,10	3,00	19,00	16,00	2,00	54,10
15	43	16.600	11,25	14,00	7,00	18,00	13,80	14,00	66,80
μ		13.787	9,63	12,61	8,70	14,75	9,86	9,25	55,17
σ		3.799	2,61	4,63	5,45	4,13	5,44	4,51	11,71
cv		0,28	0,27	0,37	0,63	0,28	0,55	0,49	0,21

Fonte: sistema de informações da empresa

Os resultados de tempos de atravessamento médios são resumidos na tabela 21: TL_m simples, TL_Q e TL_{TO} . Uma *anova* apontou com $\alpha = 5\%$ que a mudança de critério de cálculo não afeta o valor esperado do resultado. Por parcimônia, adota-se o tempo de atravessamento simples TL , remetendo-se o uso de elementos bidimensionais para a continuidade de pesquisa. Traça-se a seguir o diagrama de resultados para o formato I, considerando as datas dos eventos de transferências e acrescentando uma reta média, cujos coeficientes são obtidos por mínimos quadrados, e oferece uma expressão analítica para o cálculo de tempos de atravessamento e inventários médios. A eficácia da reta na substituição dos dados é medida pelo coeficiente de determinação R^2 : quanto mais próximo de 1, mais eficaz a substituição.

Tabela 20 - Tempos de atravessamento ponderados por quantidade

remessa	quantidade	TL_{wQ}	TL_{wQ}	TL_{wQ}	TL_{wQ}	TL_{wQ}	TL_{wQ}
n°	pares Q	liberação	corte	costura	montagem	expedição	total
1	10.100	111.100	10.100	141.400	85.850	121.200	469.650
2	19.400	250.260	291.000	310.400	184.300	145.500	1.181.460
3	11.400	157.320	42.180	171.000	39.900	159.600	570.000
4	16.100	260.820	257.600	257.600	143.290	257.600	1.176.910
5	10.200	90.780	18.360	59.160	18.360	40.800	227.460
6	18.500	79.550	185.000	345.950	268.250	246.050	1.124.800
7	14.300	277.420	85.800	267.410	118.690	78.650	827.970
8	10.700	117.700	149.800	128.400	143.380	90.950	630.230
9	19.600	159.606	352.800	156.800	319.480	290.080	1.278.766
10	11.000	231.000	55.000	176.000	81.400	44.000	587.400
11	7.300	41.391	94.900	138.700	14.600	63.510	353.101
12	14.700	229.320	132.300	220.500	73.500	80.850	736.470
13	15.500	203.050	124.000	155.000	294.500	139.500	916.050
14	11.400	160.740	34.200	216.600	182.400	22.800	616.740
15	16.600	232.400	116.200	298.800	229.080	232.400	1.108.880
TL_{wm}	13.787	12,58	9,43	14,72	10,62	9,74	57,09
cv	0,28	0,42	0,79	0,39	0,67	0,64	0,42

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 21 - Valores esperados comparados para os tempos de atravessamento

funis	TL_m	TL_{wQ}	TL_{wTO}
liberação	12,61	12,58	12,61
corte	8,70	9,43	9,19
costura	14,75	14,72	14,66
montagem	9,86	10,62	10,79
expedição	9,25	9,74	9,51
total	55,17	57,09	56,76

Fonte: elaborada pelo autor

Na tabela 22 apresentam-se as equações lineares substitutas, seus R^2 , os inventários médios e as tendências de inventário. Tendências são valores adimensionais que informam o percentual de acréscimo de inventário instantâneo no intervalo: quanto maior a tendência, mais inventário foi acumulado no período. Na figura 26 apresenta-se a composição das seis retas. Omitem-se os diagramas individuais por julgar-se que pouco acrescentariam às informações apresentadas na tabela e na figura.

Tabela 22 - Análise de inventário

transição	equação	R^2	inventário médio	tendência
entrada	$y = 4178x + 22.956$	0,98		
fim da liberação	$y = 3784,8x - 15.173$	0,97	47.959	39%
fim do corte	$y = 3684,5x - 43.728$	0,96	32.316	15%
fim da costura	$y = 3440,8x - 85.596$	0,94	53.444	23%
fim da montagem	$y = 2866,9x - 80.885$	0,94	28.288	152%
fim da expedição	$y = 2774,4x - 103.330$	0,91	28.920	21%

Fonte: elaborada pelo autor

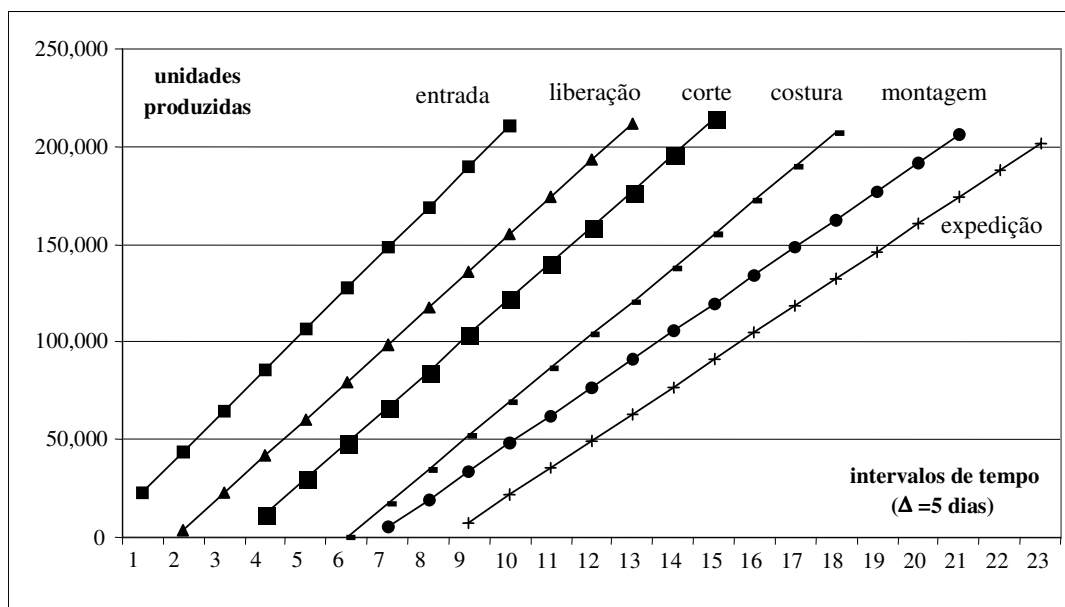


Figura 26: Diagrama de resultado do sistema de manufatura

Fonte: elaborada pelo autor

4.3.2 Modelagem para o tempo de atravessamento

Serão usados os três métodos apresentados para o cálculo do tempo de atravessamento total. Inicia-se pelo método do teorema do limite central. Como amostra serão usados seis conjuntos de dez remessas cada um. Uma remessa concluída sai da amostra, uma remessa iniciada entra na amostra, em uma sistemática de janela móvel, conforme a tabela 23.

Pelo método dos momentos superiores, acrescentam-se a μ e μ_2 fatores que se referem à distorção e a curtose da distribuição soma, β_1 e β_2 . Quanto mais β_1 se aproximar de zero e β_2 se aproximar de 3, tanto mais a distribuição se aproxima de uma normal. Verificaram-se as

correlações entre as amostras. Como não se aproximam de 1, adota-se a variante não-correlacionada do método, conforme Hahn e Shapiro (1967). Na tabela 24 apresentam-se os novos valores dos parâmetros e β_1 e β_2 . Como estes se aproximam de 0 e de 3, a distribuição se aproxima da normalidade. Comparando-se com os resultados anteriores, percebe-se que o valor esperado é próximo e o acréscimo no desvio-padrão é pequeno.

Tabela 23 - Medição do tempo de atravessamento pelo limite central

remessas	liberação		costura		corte		montagem		expedição		total	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
1-10	12,66	5,2	9,05	6,3	14,02	4,3	9,21	4,6	9,96	4,6	54,90	11,3
2-11	12,13	5,6	10,2	4,6	14,52	4,6	8,56	5,1	9,63	4,6	55,09	10,9
3-12	12,40	5,7	9,65	4,5	14,42	4,5	8,11	5,2	9,43	4,7	54,01	11,1
4-13	12,33	5,7	10,0	4,7	13,92	4,7	9,66	5,9	8,93	4,4	54,92	11,5
5-14	12,12	5,6	8,78	5,0	14,22	5,0	10,37	6,3	7,53	4,1	53,02	11,7
6-15	12,63	5,5	9,30	4,1	15,44	4,1	11,57	5,5	8,53	4,4	57,47	10,7

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 24 - Medição do tempo de atravessamento pelos momentos superiores

remessas	μ	σ	β_1	β_2
1-10	54,90	11,3	0,0003	2,66
2-11	55,09	11,5	0,0012	2,68
3-12	54,01	11,5	0,0000	2,68
4-13	54,92	11,7	0,0003	2,68
5-14	53,02	11,8	0,0001	2,67
6-15	57,47	10,8	0,0023	2,71

Fonte: elaborada pelo autor

Por fim usa-se a simulação computacional para se obter uma distribuição de probabilidade para o tempo de atravessamento total. Antes de se prosseguir, tecem-se considerações sobre a capacidade de distribuições em modelar fenômenos. A distribuição exponencial modela um evento cuja probabilidade condicional de ocorrência é constante. A distribuição gamma é a distribuição limite para o maior e a distribuição de Weibull é a distribuição limite para o menor de n valores quando n cresce. Já a distribuição normal é a distribuição limite para a soma e a distribuição lognormal é a distribuição limite para a multiplicação de n causas quando n cresce (HAHN; SHAPIRO, 1967).

A liberação de remessas se compõe de uma soma de tarefas e seu início depende do momento de chegada, cuja probabilidade condicional de ocorrência é constante. Cabem as

distribuições exponencial e normal. A costura e a montagem são atividades estritamente seqüenciais, cabendo a distribuição normal. Já no corte e na expedição reúnem-se itens de diversas fontes: o último item encerra a atividade, cabendo a distribuição gamma. Em todos os funis a distribuição esperada apresentou maior verossimilhança, exceto na expedição, em que o modelo lognormal superou o modelo gamma (n.s. de 9,8 e 9,6%). Como a diferença é pequena, adotou-se a distribuição gamma. Usou-se a amostra completa para os ajustes.

O resumo dos modelos e seus parâmetros são apresentados na tabela 25. Foram testados ajustes de máxima verossimilhança às distribuições exponencial, Weibull, gamma, lognormal e normal, pelos testes χ^2 e KS, do software ProConf 98.

Tabela 25 - Distribuições de máxima verossimilhança ajustadas aos funis produtivos

	processo				
	liberação	corte	costura	montagem	expedição
distribuição mais verossímil e parâmetros	normal $\mu = 12,61$ $\sigma = 4,63$	gamma $\gamma = 1,68$ $\theta = 5,38$ $t_0 = 0,0$	normal $\mu = 14,75$ $\sigma = 4,13$	normal $\mu = 9,86$ $\sigma = 5,44$	gamma $\gamma = 2,75$ $\theta = 3,3632$ $t_0 = 0,2304$

Fonte: elaborada pelo autor

Definidas as distribuições, montou-se um modelo de simulação computacional, composto da soma das cinco variáveis aleatórias. Segundo procedimento apresentado em Hahn e Shapiro (1967), para um nível de confiança de 95% de que a média se desviará no máximo em uma unidade (dia) da média real, e para uma estimativa de desvio-padrão de 11,71 dias (tabela 19), chegou-se a um requisito de quinhentas replicações do modelo simulado. Foram realizadas cinquenta rodadas com quinhentas replicações cada.

Os parâmetros médios obtidos pela simulação são apresentados na tabela 26. Na figura 27 apresenta-se um histograma para os valores de uma rodada. Na tabela 27 apresentam-se as probabilidades de cada funil deter o maior e o segundo maior tempo de atravessamento ($P1$ e $P2$) e a sua união. A última coluna informa o percentual de vezes que cada funil deteve ou o maior ou o segundo maior tempo de atravessamento.

Tabela 26 - Parâmetros médios obtidos por simulação computacional

μ	σ	$\beta 1$	$\beta 2$
55,71	12,16	0,0007	3,30

Fonte: elaborada pelo autor

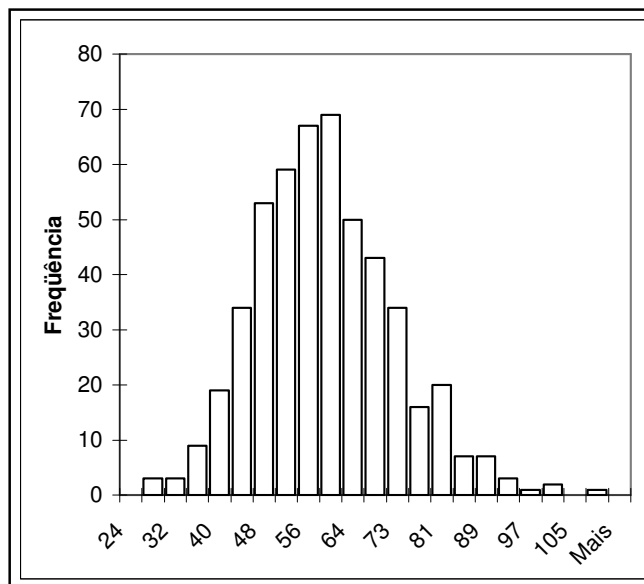


Figura 27: Histograma do tempo de atravessamento simulado

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 27 - Probabilidades dos funis deterem os maiores tempos de atravessamento

funil	$P1$	$P2$	$P1 \cup P2$
liberação	21,8%	29,0%	50,8%
corte	15,2%	8,0%	23,2%
costura	39,4%	34,2%	73,6%
montagem	11,2%	16,8%	28,0%
expedição	12,4%	12,0%	24,4%

Fonte: elaborada pelo autor

Conclui-se que a simulação computacional é o método indicado para o controle amplo, enquanto que o método do limite central é indicado para o controle estrito.

4.3.3 Discussão

Inicia-se a discussão pela escolha das unidades de valor. O sistema produtivo estudado é do tipo repetitivo por lotes. O produto é fabricado em lotes de tamanhos variados, agregáveis tanto em famílias de produtos semelhantes como em lotes maiores do mesmo produto, que

atenderão a remessas diferentes. Consultando a tabela 17, verifica-se a coerência das escolhas feitas para a unidade de valor: quantidades produzidas e tempos operacionais.

Chegou-se a três conjuntos de tempos de atravessamento: simples, ponderado pela quantidade e ponderado pelo tempo operacional. O exame da tabela 21 indica que os valores esperados dos três tipos de tempos de atravessamento são próximos em todos os funis, não havendo mudança de posto em uma eventual ordenação: a costura requer o maior tempo de atravessamento e o corte apresenta o maior coeficiente de variação em todos os referenciais. Segundo Wiendahl (1995), o tempo de atravessamento ponderado médio é o valor esperado para o tempo que uma unidade do valor leva para atravessar um centro de trabalho. Como na aplicação o tempo de atravessamento simples é próximo aos tempos de atravessamento ponderados pela quantidade produzida, o tempo de atravessamento médio simples de um centro de trabalho é próximo ao valor esperado do tempo para que uma unidade produzida atravesse este centro. Com esta definição em foco, passa-se às ações de controle.

O controle estrito se vale principalmente da figura 28, da qual é possível depreender que o sistema está em desequilíbrio: o ritmo de entrada do primeiro funil é maior do que o ritmo de saída do último funil, provocando acúmulo de inventário. Também é possível depreender que, apesar de ser na costura que o material requer mais tempo de atravessamento e apresentar maior inventário atual, é a montagem que apresenta a maior taxa de geração de inventário. Se nenhuma ação equilibradora for tomada, a tendência é que a montagem ultrapasse a costura como o funil que requer mais tempo de atravessamento.

Ações isoladas em funis são de pouca valia, requerendo-se ações integradas que reequilibrem o sistema produtivo. Havendo expressões analíticas para os tempos de atravessamento e para os inventários médios, é possível calcular estas ações. Uma alternativa é sincronizar todo o sistema à curva de entradas. Neste caso, todos os funis deverão aumentar sua capacidade produtiva. Sugere-se iniciar o aumento pela montagem, que deverá acrescer sua capacidade em 46%, que é a relação existente entre os coeficientes angulares da curva de saída da montagem e a curva de entrada ($4.178 \div 2.867$).

Também é possível que haja alguma capacidade escondida nos demais processos, bloqueada pela incapacidade da montagem em processar todo o trabalho recebido. Aumentando a capacidade da montagem, é possível que esta capacidade escondida apareça e que não sejam necessários mais aumentos. Portanto recomenda-se que aumentos de capacidade fora da montagem sejam planejados apenas após uma nova rodada de coleta e verificação de dados. Este aumento de capacidade pode ser (i) operacional, através do aumento de ativos produtivos; (ii) tático, através de rearranjo de recursos em turnos de

trabalho ou contratação de terceiros; ou (iii) estratégico, através da modificação no projeto do produto, no perfil das vendas ou nos recursos produtivos e na tecnologia.

Outra alternativa é sincronizar todo o sistema à montagem, já que este é o funil que apresenta a maior tendência a reter material e, embora ainda não apresente o maior tempo de atravessamento, deverá apresentá-lo após algum tempo. Neste caso, a curva de entrada deverá ser atenuada, equilibrando-se com a curva da montagem. Haveria capacidade ociosa nos demais funis e pedidos de clientes deverão ser rejeitados ou realocados no tempo.

Uma análise que pode ser feita é a comparação entre o inventário médio no período e a tendência a aumentar o inventário. A última coluna da tabela 22 informa que a maior tendência a gerar inventário é da montagem, que aumentou seu inventário instantâneo em 152%, embora seu inventário médio seja o menor do período. Estendendo arbitrariamente as curvas, conclui-se que a montagem deterá o maior inventário após a data 240.

Para o controle amplo é de interesse a monitoração contínua e a distribuição de probabilidade de variáveis. O monitoramento do tempo de atravessamento é possível através dos dados da tabela 24, dando origem à figura 28, que pode ser usada como elo de realimentação do tempo de atravessamento total. Apesar de ser possível converter a abscissa da figura em datas, adotando-se a data média das remessas, esta conversão não parece ser necessária, haja vista que o comportamento do tempo médio de atravessamento, não seria afetado. O $R^2 = 0,074$, próximo a zero, confirma o caráter aleatório da grandeza.

Ações de melhorias são necessárias para a redução do tempo de atravessamento total. Pela tabela 27 conclui-se que o funil costura é o melhor candidato a receber estas ações, pois apresenta a maior probabilidade de requerer ao menos o segundo maior tempo de atravessamento individual. No controle estrito já havia sido diagnosticada a montagem como maior gerador de inventário. Portanto a análise é focada na costura e na montagem.

Um diagnóstico na costura identificou efeitos indesejáveis que podem sinalizar causas possíveis para o maior tempo de atravessamento médio: (i) ao faltar matéria-prima para uma remessa, a costura inicia outra remessa; (ii) o corte não inspeciona sua produção, ocorrendo retrabalho ao fim da costura devido ao uso de materiais inadequados; e (iii) ateliers reforçam seus quadros de pessoal só após terem as remessas em mãos, ocorrendo faltas de pessoal.

Com base nestes efeitos foram planejadas ações de melhorias: (i) criação de almoxarifado em que as remessas só são liberadas para início de corte após a consolidação dos materiais; (ii) inspeção 100% após o corte e após a montagem; (iii) intervenção nos terceiros para eliminação de ineficiências; (iv) redução do lote de transferências da costura para a montagem; e (v) deslocamento de pessoal eventualmente ocioso do corte para a

costura. Após as ações de correção, fez-se uma nova coleta e análise dos tempos de atravessamento simples, desta vez de dez remessas. As novas correlações entre as variáveis também são distantes de 1, ou seja, os funis continuam independentes. A média dos tempos de atravessamento caiu a cerca de 50% e seus valores individuais surgem na tabela 28. Uma análise comparativa antes e depois da intervenção é apresentada na tabela 29.

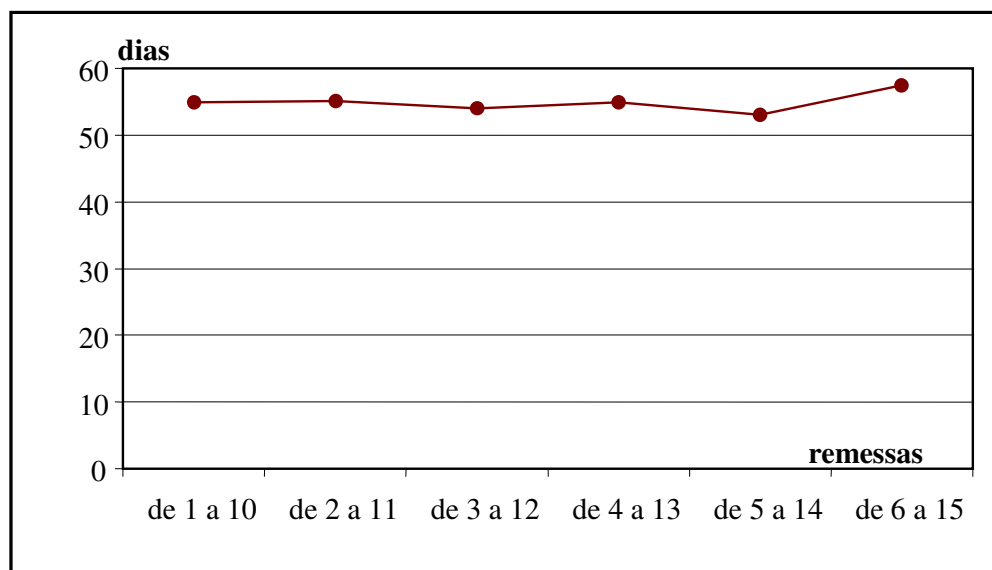


Figura 28: Monitoração do tempo de atravessamento

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 28 - Segunda coleta de dados

rem. n.º	data início	quant.	TL liberação	TL corte	TL costura	TL montagem	TL expedição	TL total
1	0	11.400	9,20	3,40	5,00	3,00	4,30	24,90
2	2,5	12.500	8,90	1,00	7,00	5,80	3,00	25,70
3	4	9.500	9,80	4,00	7,00	4,30	3,50	28,60
4	8	17.250	11,70	4,20	6,20	8,50	3,50	34,10
5	12,5	13.850	5,30	8,00	5,50	3,20	8,50	30,50
6	15,5	10.500	8,70	1,50	3,40	5,20	5,20	24,00
7	21	17.750	11,50	5,00	7,00	8,00	5,20	36,70
8	27	15.500	8,70	6,30	8,00	7,20	4,00	34,20
9	32	12.150	8,90	2,20	3,80	2,80	4,50	22,20
10	36	13.900	8,30	6,50	4,20	5,00	3,50	27,50
μ			9,10	4,21	5,71	5,30	4,52	28,84
cv			0,20	0,54	0,28	0,39	0,35	0,17

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 29 - Tempos de atravessamento antes e depois das ações de controle

	liberação	corde	costura	montagem	expedição	total	maior/menor
média antes	12,61	8,70	14,75	9,86	9,25	55,76	59%
média depois	9,10	4,21	5,71	5,30	4,52	28,84	46%
redução %	27,82%	51,61%	61,28%	46,25%	51,15%	47,72%	
cv antes	0,37	0,63	0,28	0,55	0,49	0,21	45%
cv depois	0,20	0,54	0,28	0,39	0,35	0,17	36%
redução %	46,77%	13,44%	1,65%	29,34%	28,27%	20,00%	

Fonte: elaborada pelo autor

Nas equações 10 e 11 apresentam-se intervalos que contém 95% dos tempos de atravessamento simples das populações de ordens de fabricação antes e depois da intervenção de controle. Usaram-se os resultados do método do limite central (tabelas 19 e 28).

$$ICl_{95\%} TL_{S \text{ antes}} = 55,17 \pm 1,96 \times 11,71 = [78,4; 32,8] \text{ dias} \quad \text{Equação 10;}$$

$$ICl_{95\%} TL_{S \text{ depois}} = 28,84 \pm 1,96 \times 4,90 = [19,2; 38,4] \text{ dias} \quad \text{Equação 11;}$$

Para justificar a preferência pelo método do limite central, na figura 29 apresenta-se um esquema em que é possível identificar a distribuição que explica um conjunto de dados, a partir de β_1 e β_2 . O uso dos momentos e a simulação computacional indicam pontos no plano (β_1 , β_2) nas proximidades da distribuição normal, justificando o uso do método.

O controle acarretou modificações no estado do sistema. Antes, 206.800 pares foram expedidos em 63,3 dias, o que resulta em um desempenho médio de 3.266 pares por dia. Após, 134.300 pares foram expedidos em 38,6 dias, resultando um desempenho médio de 3.479 pares por dia, um ganho de 6,5%. Pela equação do funil, o inventário médio baixou de 180.185 para 100.342 pares. O sistema de manufatura mudou de estado, pois mudaram os valores das variáveis de estado, conforme calculadas pela modelagem usada.

O controle reduziu as relações entre as menores e maiores média e coeficientes de variação (59% para 46%; 46% para 36%) dos tempos individuais, balanceando melhor o sistema. A costura não mais requer o maior tempo de atravessamento, agora requerido pela liberação. Os coeficientes de variação de todos os tempos de atravessamento simples individuais caíram.

Finalizando a discussão, o caso foi útil para testar e consolidar o modelo de medição e controle da manufatura. Na fase de controle estrito foi possível estabelecer um conjunto de ações de controle imediatas para sincronizar o sistema produtivo. Na fase de controle amplo

foi possível chegar a uma monitoração contínua e oferecer uma estimativa do prazo de conclusão de ordens. Finalmente, foi testada uma sistemática para a estimação da distribuição de probabilidade do tempo de atravessamento, necessária para que se possam comparar resultados entre variáveis aleatórias. Um ponto a destacar é a capacidade do método em tratar com operações logísticas, pois, devido às distâncias envolvidas, o tratamento das informações pode ser feito por meio eletrônico.

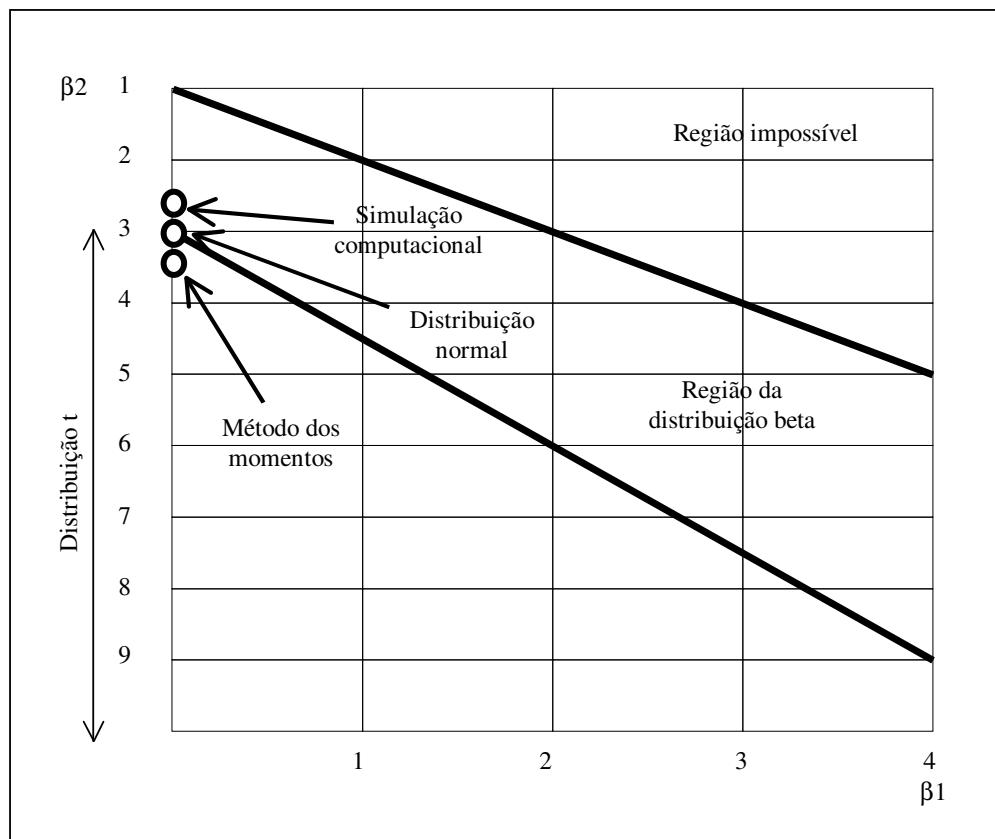


Figura 29: Localização das distribuições no plano (β_1 , β_2)

Fonte: simplificado de Hahn e Shapiro, 1967, p.197

4.4 Resumo do método e considerações finais ao capítulo

O objetivo deste capítulo era apresentar uma modelagem para a medição de parâmetros de manufatura baseados no tempo de atravessamento. A modelagem foi testada em dois estudos de caso, sendo que um destes foi apresentado no capítulo. A técnica será requerida no

passo 3 da metodologia proposta nesta tese. Após o estudo, discussão e aprendizado, resumem-se os achados, sob a forma de uma metodologia.

- Mapear o sistema de manufatura e seu arranjo produtivo, gerando um grafo que, se necessário, será simplificado ao formato I;
- Identificar a unidade de valor que melhor represente o resultado do sistema;
- Se houver uma política de liberação, pode resultar que o tempo de atravessamento seja uma variável dependente, do contrário pode resultar uma variável aleatória. No primeiro caso, usar regressões, no segundo caso, usar técnicas probabilísticas;
- Anotar as transferências da unidade de valor no tempo ao longo do circuito série;
- Escolher entre os tempos de atravessamento simples e ponderado pela unidade de valor;
- Identificar o tempo de atravessamento do formato I. Se dependente, o tempo terá uma expressão analítica, se aleatório, uma distribuição de probabilidade e um intervalo de confiança. Medir o desempenho em unidades de valor por unidade de tempo e pela equação do funil calcular o inventário médio. Estas são as três variáveis de estado do sistema de manufatura; e
- Especificar e executar ações de controle, coletar mais transferências de unidades de valor, calcular os novos valores das variáveis de estado e comparar com os anteriores, concluindo a respeito das ações de controle, em um ciclo contínuo.

A contribuição empírico-teórica desta tese prossegue no próximo capítulo, no qual apresenta-se e testa-se em um estudo de caso a metodologia de medição e controle de desempenho estratégico em manufatura.

5 ESTUDO DE CASO

O objetivo deste capítulo é testar a metodologia referida no capítulo 1, reunindo a contribuição dos capítulos 3 e 4 em um caso-piloto do tipo sondagem plausível. Os resultados devem ser tratados como hipóteses de trabalho disponíveis para novas aplicações.

5.1 Desenvolvimento da pesquisa: metodologia e aplicação

Os conteúdos teóricos ora utilizados foram desenvolvidos nos capítulos 3 e 4, não sendo requeridas ulteriores revisões. A questão de pesquisa é: como medir e controlar o desempenho originado da execução de uma estratégia de manufatura já formulada? Por considerações metodológicas similares às já adotadas chega-se a um estudo de caso quantitativo. Espera-se chegar a um caso que contribua na construção de uma teoria futura. As premissas de pesquisa são: (i) um planejamento estratégico sem controle ou realimentação pode não ser totalmente eficaz; e (ii) um sistema de medição de desempenho não integrado e que não percebe as variações do ambiente pode ser inútil.

Foi escolhida uma empresa que projeta e fabrica ferramentas mecânicas com base tecnológica. A manufatura é representada por sete processos em série: forjaria, rebarbagem, usinagem, tratamento térmico, montagem, marcação e embalagem e expedição. A forjaria atende duas linhas em divergência, destinando cerca de 20% de sua produção à linha em estudo, em conexão série, conforme a figura 30.

A empresa pratica uma metodologia de planejamento estratégico, através da qual formulou uma estratégia de manufatura que consiste de seis objetivos estratégicos e quinze cursos de ação. Cada curso de ação foi orçado, chegando-se a um valor previsto de despesa para sua execução. Como um curso de ação afeta indicadores ligados a diversos objetivos, a estrutura final não é uma arborescência: os indicadores não são sustentados por elementos com mútua exclusividade. Não é objetivo desta tese investigar o procedimento de formulação estratégica adotado. Coloca-se apenas que é um método qualitativo apriorístico e não-realimentado por um sistema de indicadores específico. O acompanhamento se dá por um sistema de informações existente, do tipo levemente estruturado, em plataforma tecnológica. Para cada curso de ação a empresa escolhe um único indicador, não articulado com os demais.

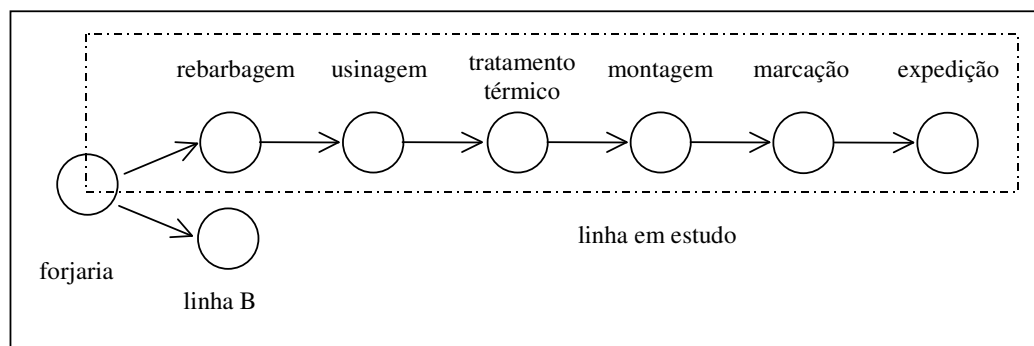


Figura 30: Grafo da manufatura em estudo

Fonte: elaborada pelo autor

Por comodidade de leitura repete-se a metodologia, desta vez aplicada ao caso.

Passo 1: Identificar a estratégia pré-existente de manufatura. A estratégia é composta por seis objetivos de manufatura e quinze cursos de ação. Os objetivos se relacionam com estratégias funcionais de recursos humanos, de mercado, financeiras e contém a própria estratégia de manufatura, abrangendo aspectos de qualidade, manutenção, agilidade, flexibilidade e eficiência na fabricação;

Passo 2: Definir indicadores e importâncias relativas. Os estrategistas debatem a estratégia, identificam os pressupostos admitidos para que se atinjam cada um dos objetivos, representam a rota estratégica pressuposta e associam a cada passo da rota uma grandeza intangível. A seguir, associam a cada grandeza intangível uma variável manifesta, chegando-se a uma estrutura hierárquica arborescente de três níveis, o objetivo global de manufatura, os objetivos estratégicos de manufatura e os indicadores. Testa-se a confiabilidade da estrutura

através do alfa de Crombach, eventualmente corrigindo-a. Pelo AHP os estrategistas ponderam a estrutura. Este passo se vale do desenvolvimento feito no capítulo 3;

Passo 3: Medir os indicadores e categorizar o desempenho. Os estrategistas, valendo-se do planejamento estratégico e dos valores iniciais dos indicadores, estabelecem cinco faixas numéricas de desempenho para os indicadores e associam valores a estas faixas: [ótimo = 1; bom = 0,75; médio = 0,5; ruim = 0,25; péssimo = 0]. Alguns indicadores são obtidos diretamente do sistema de informações da empresa, outros, tais como o valor esperado e a variabilidade de tempos de atravessamento e inventário, requererão o modelo do capítulo 4. Por soma de produtos da importância relativa do indicador e da faixa de desempenho atual, chega-se ao valor geral de desempenho estratégico, entre 0 a 1. O complemento é a lacuna estratégica total a preencher pela execução do plano;

Passo 4: Exercer o pré-controle. Cada curso de ação é avaliado quanto à sua capacidade de superar a lacuna de cada um dos indicadores e com isto contribuir para preencher a lacuna estratégica. Esta capacidade é categorizada e associada a valores [plena = 1; forte = 0,75; média = 0,5; fraca = 0,25; nula = 0], estimando-se o desempenho estratégico a que se chegaria se todos os cursos fossem adotados e concluídos. A análise verifica a consistência dos cursos com os objetivos estratégicos, modificando-se os mesmos antes da execução, caso a expectativa de preenchimento da lacuna não seja total;

Passo 5: Priorizar a execução estratégica. Cada curso de ação tem um custo e um mérito, calculado pela soma dos produtos das importâncias dos indicadores pelas capacidades de superar lacunas, o que indica quanto da lacuna estratégica o curso supera. Por um modelo de otimização combinatória, para diversos níveis de desencaixes, monta-se o conjunto de planos que alcance o maior preenchimento da lacuna estratégica. Caso o conjunto seja menor do que a totalidade, não deve-se esperar o preenchimento total da lacuna; e

Passo 6: Executar e controlar os cursos de ação. O último passo é ativar os cursos priorizados, não sendo objetivo desta tese acompanhar o ciclo de controle no tempo.

5.1.1 Aplicação dos passos 1 e 2: estrutura de medição de desempenho

No **passo 1**, do planejamento estratégico pré-existente de manufatura obtiveram-se os seis objetivos estratégicos: (i) melhorar a resposta dos atuais processos, um objetivo de manufatura; (ii) qualificar colaboradores, um objetivo que se relaciona com a estratégia de

recursos humanos; (iii) aumentar a carga da fábrica, um objetivo que se relaciona com a estratégia de mercado; (iv) reduzir atrasos de fabricação, um objetivo de manufatura; (v) entrar no mercado automobilístico, um objetivo que se relaciona com a estratégia de mercado; e (vi) aumentar a eficiência da fábrica, um objetivo de manufatura. Os cursos de ação, seus objetivos e justificativas são apresentados na tabela 30.

Vale salientar que a maior parte das ações se relaciona com operações de manufatura, mas há ações relacionadas com outras estratégias funcionais, tais como ações comerciais e de recursos humanos, caracterizando a meso-estratégia de gestão de demanda. A estratégia de manufatura é afetada pela estratégia funcional de finanças, pois, apesar dos cursos de ação terem viabilidade econômica, pode não ser de interesse alocar neles os recursos disponíveis.

No **passo 2**, o grupo focado contou com quatro decisores de perfil racional, trajetórias de sucesso na indústria metal-mecânica, formação compatível e conhecedores da estratégia de manufatura da empresa. Dois membros do grupo participaram da formulação da estratégia.

As três primeiras perguntas foram iguais à aplicação do capítulo 3 e as respostas sinalizaram um ambiente diferente da pesquisa anterior: mercado previsível; perturbações apenas naturais, não-caóticas; variáveis de decisão, tais como o PIB, consumo de energia elétrica e juros com variação lenta e previsível; poucos produtos com pouca diferenciação; força da marca; conexão com a política de manufatura das outras unidades, inclusive no exterior; fonte de competitividade é o ganho de escala; dependência de poucos fornecedores; cadeia de distribuição própria e robusta. Com isto se justificam os principais aspectos da estratégia basal de manufatura: fábrica focada em um único produto, com poucas variações, mas com força própria em projeto de produto e desenvolvimento de processo; investimentos moderados em mercadologia; produção para estoque; armazenagem em centros de distribuição junto ao mercado, quase pronta-entrega; exploração intensiva de equipamentos e mão-de-obra; produção em lotes grandes e contínuos.

Nas duas perguntas seguintes o grupo explicitou o seu entendimento sobre a rota estratégica para a consecução dos objetivos e chegou a uma arborescência de indicadores. A figura 31 apresenta os passos da rota e algumas das premissas assumidas pelos estrategistas. Nesta figura observam-se arborescências, indicando grandezas contemporâneas que se agregam logicamente, e filas, indicando grandezas que ocorrem em momentos diferentes, mas que contribuem temporalmente para o objetivo.

Tabela 30 - Cursos de ação previamente propostos

item	curso de ação	escopo e justificativa
1	desgargalamento da fábrica	A fábrica possui gargalos causados por má alocação de operações. Tenciona-se identificar opções de processos internos e externos que aliviem os gargalos, sem adquirir máquinas novas.
2	modificar lay-out da fábrica	Partes do processo produtivo ocorrem em contra-fluxo, causando filas, excesso de transporte interno e mau uso de mão-de-obra. Tenciona-se realocar máquinas existentes e reformar prédios.
3	introduzir sistema de remuneração variável	Tenciona-se identificar e quantificar objetivos, que, se alcançados, resultarão em remuneração proporcional ao resultado. Com isto espera-se comprometimento da equipe e tornar atrativo o trabalho.
4	treinamento em metrologia e interpretação de desenho	Tenciona-se identificar as carências de treinamento de operadores e contratar instrutores ligados a escolas para ministrá-los na empresa. Espera-se aumentar a qualificação e reduzir refugo e retrabalho.
5	treinamento em gerência de produção	Tenciona-se apresentar técnicas de gerência de produção às lideranças operacionais, mais treinadas em técnicas de fabricação mecânica. Esperam-se soluções criativas para set-up's e gargalos.
6	treinamento sobre os projetos dos produtos	Tenciona-se introduzir tecnologia de gestão de projetos, projeto voltado à manufatura e projeto apoiado em tecnologia. Espera-se aumentar a flexibilidade em projeto, introduzindo o <i>DfX</i> .
7	identificar representantes na região norte do Brasil	Com o objetivo de aumentar as vendas e os lotes de produção, tenciona-se intensificar vendas em regiões pouco visitadas por representantes distantes e que ainda não conhecem o produto.
8	introduzir programação fina de produção	Para sincronizar melhor as operações e reduzir gargalos, tenciona-se adquirir sistema de programação fina. Também tenciona-se reduzir o mix-padrão agregando produtos e liberando processos.
9	criar área para estoque de matéria-prima	Com uma área de estocagem específica, uma ordem só será iniciada após a chegada de todo o material necessário. Acredita-se que será possível inicial uma ordem e não interrompê-la antes do término.
10	criar sistema de informação de PCP	As informações típicas de PCP, tais como tempos de atravessamento, inventários, desempenhos e roteiros não são dedicadas e são coletadas por meios manuais, causando mau uso de mão-de-obra.
11	implantar norma ISO TS 9000	Tenciona-se contratar consultoria e formar equipe interna para implantar a ISO TS 9000 e divulgar ao mercado. Acredita-se que só com a certificação será possível entrar no mercado automobilístico.
12	automatizar carga e descarga de máquinas	A carga e descarga de máquinas é feita manualmente, é restritiva e exige operadores adicionais. Tenciona-se automatizar tais operações, reduzindo o número de acidentes e usando melhor a mão-de-obra.
13	adquirir equipamentos de transporte interno	O transporte interno de peças e materiais é feito de forma manual, sujeita a acidentes e é pouco eficiente. Tenciona-se introduzir equipamentos, tais como esteiras de transporte.
14	adquirir novos equipamentos de produção	Há equipamentos em franca desatualização tecnológica, exigem esforço operacional inaceitável, sendo impossível sua reforma. Tenciona-se aumentar a eficiência energética.
15	reformular máquinas em mortalidade senil	Há máquinas na região da taxa de falhas crescente da curva da banheira, que exigem manutenções preventivas constantes e onerosas. Tenciona-se reformá-las e voltar à região de taxa de falhas constante.

Fonte: elaborada pelo autor

Para atingir o primeiro objetivo, melhorar a resposta dos atuais equipamentos, os decisores entendem que é necessário melhorar três construtos: o quanto se exige dos recursos produtivos, a manutenção e a qualidade. A exigência é maior quanto mais problemático é o processo de fabricação. Entende-se que o construto seja apreendido pelo conceito de tempo-padrão do principal produto. Melhorando-se este tempo, melhorar-se-ão os tempos-padrão de todos os produtos. A manutenção é melhor quanto menos quebras houver e mais rápidas as atuais quebras forem sanadas. Todos os setores exceto a usinagem e a marcação possuem máquinas redundantes, adotando estratégias de manutenção de emergência, pois é possível cumprir a mesma atividade em diversas máquinas. Entende-se que o construto seja apreendido pela menor disponibilidade de máquina entre a usinagem e a marcação, pois estes setores possuem máquinas exclusivas e sobrecarregadas, com complexidade tecnológica, que exigem estratégias de manutenção corretiva e preditiva. A disponibilidade considera os tempos médios entre quebras, o *MTBF*, e entre reparos, o *MTTR*, que exigem modelos probabilísticos e é dada pela equação 12. As relações entre modelos e estratégias de manutenção são apresentadas em Sellitto (2005). Finalmente, o construto qualidade pressupõe os conceitos de capacidade de processo e da necessidade de se fazer uma tarefa corretamente pela primeira vez, sendo seu complemento apreendido pelos percentuais de refugo e retrabalho

$$A_v = \min \left[\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{usinagem}; \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{marcação} \right] \quad \text{Equação 12;}$$

O segundo objetivo é qualificar os recursos humanos. A estratégia se compõe de três construtos, a qualificação intrínseca de operadores, a segurança no trabalho e a atratividade do trabalho. A qualificação intrínseca é apreendida pelos conceitos de contratação, treinamento e comprometimento e o complemento da segurança é apreendido pelo afastamento de colaboradores por acidentes. A atratividade do trabalho é afetada por fatores, tais como remuneração, bom ambiente de trabalho e motivação, e seu complemento é aglutinado no conceito de rotatividade, ou seja, a parcela de operadores que são demitidos ou pedem demissão da manufatura. Vale observar que o primeiro construto é sustentado por uma estrutura em forma de fila, não necessariamente com relações de causalidade. Por exemplo, a correta contratação é um antecedente mas não é uma causa de um bom treinamento, que por sua vez antecede mas não causa o comprometimento.

O terceiro objetivo, aumentar a carga da fábrica, pode ser atingido por dois construtos, o aumento da produção e o aumento da produtividade. O aumento da produção é obtido pelo

aumento de vendas. Já o aumento da produtividade é obtido pela redução nas interrupções, que, por sua vez, é obtida pela redução do tempo intrínseco de *set-up* e pela redução das faltas de materiais em meio às ordens, o que força *set-up*'s extras. Com uma dada confiabilidade, o construto é apreendido pelos indicadores *ritmo de produção* e *% tempo de set-up*, antecipados pelos indicadores *tamanho do mix-padrão* e *% de OF cumpridas sem interrupção*.

O quarto objetivo é reduzir o tempo de execução de ordens. Como a manufatura é um sistema de filas, o tempo até a conclusão da ordem é influenciado pelo valor esperado e pela variabilidade do tempo de execução. Em filas, indicadores de tempos são antecipados por indicadores de inventário. Será usado o modelo de cálculo desenvolvido no capítulo 4.

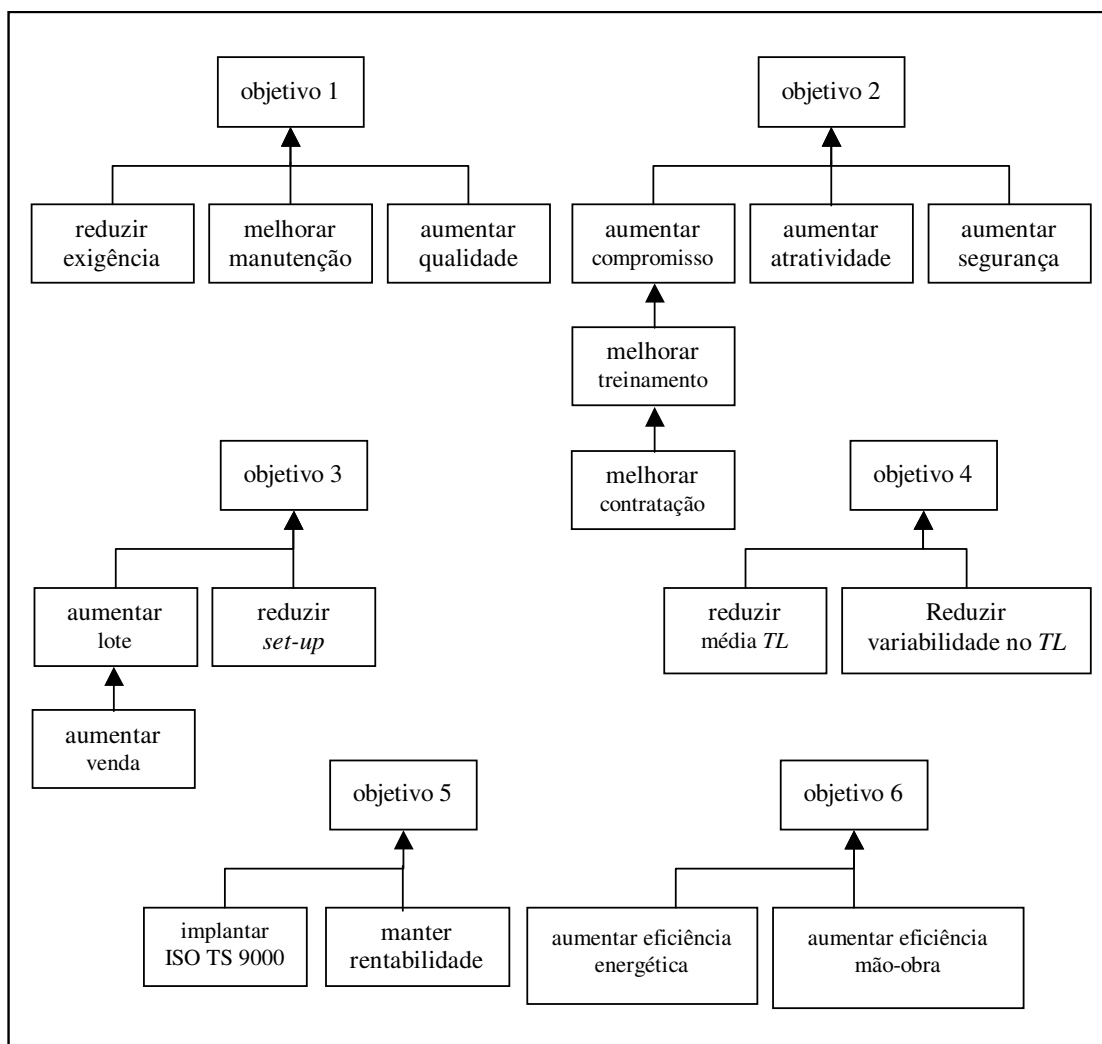


Figura 31: Representação da rota estratégica

Fonte: elaborada pelo autor

O quinto objetivo é entrar e se manter no mercado automobilístico. A premissa estratégica é a adoção da norma ISO TS, sem perda de rentabilidade. Com uma dada confiabilidade, o objetivo é medido pelo *% de vendas no setor*, antecipado pelo *% de implantação da norma*. A condição necessária é medida pela rentabilidade das ordens entregues no setor. Após se formar um histórico, por regressão, poder-se-á verificar se a implantação da norma realmente abriu o mercado automobilístico para a manufatura, ou se outra premissa deve ser adotada. Após a implantação, o indicador deve ser substituído por um indicador de não-conformidades, que passará a representar a manutenção da norma.

O sexto objetivo é aumentar a eficiência da manufatura, medida pelo uso dos dois recursos variáveis mais relevantes, os recursos humanos e a energia elétrica. Os consumos específicos faturados são antecipados pelos consumos específicos produzidos.

Usando o método do capítulo 3, os decisores chegaram à estrutura ponderada da tabela 31. A primeira camada foi julgada em conjunto, mas os decisores preferiram julgar individualmente a segunda camada, o que gerou as médias e variabilidades da tabela. Nas duas últimas colunas têm-se as importâncias relativas finais, obtidas pela multiplicação da média da importância relativa de segunda camada pela importância relativa do objetivo. Também se têm as ordens de importância dos indicadores, segundo os decisores.

Para verificar a confiabilidade da estrutura de medição, os decisores avaliaram a realidade dos conceitos intangíveis que expressam as idéias aglutinadas nos indicadores, chegando a um alfa de Crombach de 0,91 e confirmando a estrutura. Graças ao aprendizado do capítulo 3 inverteram-se as etapas, ponderando-se primeiro a estrutura e depois testando a confiabilidade, o que pode ter contribuído para o alto valor atingido pelo alfa de Crombach, maior do que no caso do capítulo 3. O teste de confiabilidade é apresentado na tabela 32.

5.1.2 Aplicação dos passos 3 e 4: medição e pré-controle do desempenho

Os membros do grupo que participaram da formulação da estratégia, considerando o planejamento estratégico e a situação atual dos indicadores, estipularam as faixas de desempenho da tabela 33, que também apresenta a medição atual.

A situação de cada indicador foi medida ou calculada pelo modelo do capítulo 4 e categorizada, resultando um desempenho total próximo a 49% dos objetivos estratégicos. As

lacunas de desempenho são apresentadas na tabela 34, em pontos percentuais de desempenho, e mostrando a ordem das lacunas. A seguir fazem-se comentários em relação aos indicadores.

Tabela 31 - Arborescência representativa da estratégia de manufatura

objetivos estratégicos	indicadores	respostas		importância relativa	
		média	cv	valor	ordem
melhorar a resposta dos atuais processos	tempos-padrão de produtos	0,56	0,01	21,7%	1
	disponibilidade de processos	0,27	0,02	10,3%	3
39%	refugo	0,11	0,11	4,2%	8
	retrabalho	0,06	0,12	2,4%	11
qualificar colaboradores	% cumprimento requisitos na contratação	0,50	0,04	5,9%	6
	tempo treinamento	0,25	0,07	2,9%	9
12%	absenteísmo	0,11	0,17	1,3%	17
	% horas de afastamento por acidentes	0,05	0,19	0,6%	22
	rotatividade	0,09	0,19	1,0%	19
aumentar a carga da fábrica	unidades vendidas	0,06	0,19	0,3%	25
	% tempo de set-up	0,16	0,08	0,7%	21
5%	tamanho do mix-padrão	0,07	0,14	0,3%	24
	% de OF cumpridas sem interrupção	0,44	0,03	2,1%	14
	ritmo de atendimento a ordens	0,27	0,04	1,3%	18
reduzir atrasos em ordens de fabricação	tempo de atravessamento médio de ordens	0,53	0,06	14,0%	2
	variabilidade no t. atravessamento de ordens	0,26	0,02	6,5%	5
25%	inventário médio	0,14	0,16	2,9%	10
	desempenho médio	0,07	0,17	1,4%	15
entrar no mercado automobilístico	% de vendas automobilístico em unidades	0,24	0,08	0,8%	20
	% de vendas no setor automobilístico em \$	0,66	0,03	2,1%	13
3%	% de implantação da ISO TS	0,10	0,07	0,3%	23
tornar equipamentos mais eficientes	KWh/unidade produzida	0,26	0,07	4,4%	7
	KWh/\$ faturado	0,54	0,03	9,2%	4
17%	H.H/unidade produzida	0,08	0,19	1,4%	16
	H.H/\$ faturado	0,12	0,08	2,1%	12
total = 100%			total =	100%	

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 32 - Teste de confiabilidade da representação da estratégia de manufatura

objetivos estratégicos	grandezas intangíveis que descrevem os objetivos estratégicos	alfa se item excluído	alfa de Crombach
melhorar a resposta dos atuais processos	o quanto o produto se exige da fábrica	0,8996	0,91
	qualificação da manutenção	0,9042	
	capabilidade do processo	0,9248	
	qualidade do processo	0,9248	
qualificar colaboradores	seleção de pessoal	0,9068	
	preparação do pessoal	0,8988	
	motivação do pessoal	0,9027	
	segurança do pessoal	0,9111	
aumentar a carga da fábrica	atratividade do posto de trabalho	0,9228	
	volume de vendas	0,9024	
	rapidez na preparação da fabricação	0,8996	
	flexibilidade no projeto	0,9042	
reduzir atrasos em ordens de fabricação	suprimento de matéria-prima	0,9020	
	produtividade no atendimento a clientes	0,9042	
	agilidade na fabricação	0,9020	
	variabilidade na fabricação	0,8981	
entrar no mercado automobilístico	tamanho de fila de espera na fabricação	0,9068	
	produtividade na fabricação	0,9119	
	volume de vendas automobilísticas	0,8953	
tornar equipamentos mais eficientes	rentabilidade no setor automobilístico	0,8967	
	ritmo de implantação da ISO TS	0,9119	
	eficiência energética na fabricação	0,8981	
	balanço energia gasta/preço produto	0,9133	
	eficiência da mão de obra na fabricação	0,9071	
	balanço mão de obra /preço produto	0,9071	

Fonte: elaborada pelo autor usando o software SPSS, v.10.0.1

Tabela 33 - Medição da execução da estratégia de manufatura

indicadores	unidade	categorias de situação de indicadores					situação atual	
		péssimo	ruim	médio	bom	ótimo	medição	avaliação
tempos-padrão produto	horas	>7	6,25 a 7	5,5 a 6,25	4,75 a 5,5	<4,75	5,1	boa
disponib. processos	%	<96	96 a 97	97 a 98	98 a 99	>99	97,50	média
refugo	ppm	>1000	1000 a 800	800 a 600	600 a 400	<400	425	boa
retrabalho	ppm	>1000	1000 a 800	800 a 600	600 a 400	<400	830	ruim
% cumpr. requ. contrat.	%	<45	45 a 60	60 a 75	75 a 90	>90	76	boa
tempo treinamento	h/func.ano	<10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	>25	15,5	média
absenteísmo	%	>3	3 a 2,75	2,75 a 2,5	2,5 a 2,25	<2,25	2,37	boa
% horas de afast. acid.	%	>3	3 a 2	2 a 1	1 a 0	0	1,44	média
rotatividade	%	>1	1 a 0,9	0,9 a 0,8	0,8 a 0,7	<0,7	0,89	média
unidades vendidas	1.000 peças/mês	<60	60 a 65	65 a 70	70 a 75	>75	61,5	ruim
% tempo de set-up	%	>4	4 a 3,5	3,5 a 3	3 a 2,5	<2,5	2,25	ótima
tamanho do mix-padrão	produtos	>30	29 - 28	27 - 26	25 - 24	< 24	25	boa
% OF cumpr. sem inter.	%	<75	75 a 80	80 a 85	85 a 90	>90	87,6	boa
ritmo de produção	dias/ordem	>5	5 a 4,75	4,75 a 4,5	4,5 a 4,25	<4,25	4,66	média
t. atrav. médio de ordens	dias	>40	40 a 30	30 a 20	20 a 10	<10	45,12	péssima
variab. t. atrav. ordens	cv	>0,2	0,2 a 0,18	0,18 a 0,16	0,16 a 0,14	<0,14	0,24	péssima
inventário médio	mil peças	>80	80 a 70	70 a 60	60 a 50	<50	95,8	péssima
desempenho médio	unid./hora	<160	160 a 165	165 a 170	170 a 175	>175	154,2	péssima
% vendas unid. autom.	%	<2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	>5	3,2	média
% vendas \$ autom.	%	<2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	>5	4,9	boa
% implant. da ISO TS	%	20	20 a 40	40 a 60	60 a 80	>80	50	média
KWh/unid. produzida	kWh/unid.	>6,8	6,8 a 6,6	6,6 a 6,4	6,4 a 6,2	<6,2	6,48	média
KWh/\$ faturado	kWh/(1.000 R\$)	>460	460 a 450	450 a 440	440 a 430	<430	432	boa
H.H/unidade produzida	h.h/(1.000 unid.)	>380	380 a 370	370 a 360	360 a 350	<350	363	média
H.H/\$ faturado	h.h/(1.000 R\$)	>270	270 a 260	260 a 250	250 a 240	<240	242	boa

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 34 - Desvios na estratégia de manufatura

	indicadores	importância relativa	desempenho	lacuna de desempenho	ordem
objetivo 1	tempos-padrão produto	21,72%	16,29 pp	5,43 pp	3
	disponibilidade processos	10,31%	5,15 pp	5,15 pp	4
	refugo	4,17%	3,13 pp	1,04 pp	12
	retrabalho	2,38%	0,59 pp	1,78 pp	8
objetivo 2	% cumpr. requisitos contr.	5,88%	4,41 pp	1,47 pp	10
	tempo treinamento	2,94%	1,47 pp	1,47 pp	11
	absenteísmo	1,30%	0,97 pp	0,32 pp	20
	% horas de afast. acidentes	0,65%	0,32 pp	0,32 pp	21
	rotatividade	1,01%	0,51 pp	0,51 pp	18
objetivo 3	unidades vendidas	0,27%	0,07 pp	0,20 pp	22
	% tempo de set-up	0,72%	0,72 pp	0,00 pp	25
	tamanho do mix-padrão	0,31%	0,23 pp	0,08 pp	24
	% de OP cumpr. sem inter.	2,05%	1,54 pp	0,51 pp	17
	ritmo de produção	1,26%	0,63 pp	0,63 pp	14
objetivo 4	t. atrav. médio de ordens	13,24%	0,00 pp	13,24 pp	1
	variab. no t. atrav. ordens	6,44%	0,00 pp	6,44 pp	2
	inventário médio	3,44%	0,00 pp	3,44 pp	5
	desempenho médio	1,65%	0,00 pp	1,65 pp	9
objetivo 5	% de vendas unid. autom.	0,77%	0,39 pp	0,39 pp	19
	% de vendas \$ autom.	2,09%	1,57 pp	0,52 pp	16
	% implantação da ISO TS	0,32%	0,16 pp	0,16 pp	23
objetivo 6	KWh/unid. produzida	4,36%	2,18 pp	2,18 pp	7
	KWh/\$ faturado	9,24%	6,93 pp	2,31 pp	6
	H.H/unidade produzida	1,35%	0,68 pp	0,68 pp	13
	H.H/\$ faturado	2,13%	1,60 pp	0,53 pp	15
	total	100%	49,53 pp	50,47 pp	

Fonte: elaborada pelo autor

Indicadores do objetivo 1: O tempo-padrão de produto é determinístico, ou seja, é fixado *a priori*, por meio de cálculo, e só varia quando uma modificação de projeto ou de processo é concluída. O tempo-padrão é o intervalo de tempo que transcorreria entre o início e o término da fabricação de uma única unidade do produto mais importante, caso não houvesse separação física ao longo de todo o processo. É uma variável *proxi*, pois aglutina em seu

conteúdo aspectos relevantes do conceito de flexibilidade em projeto e processo, tentando representar o esforço requerido da manufatura pelo produto principal. Pressupõe-se que avanços obtidos no produto serão transferidos aos outros. As demais variáveis são aleatórias e serão amostradas. A disponibilidade admite os modelos de Weibull para o *MTBF* e normal e lognormal para o *MTTR*. O refugo e o retrabalho admitem a distribuição normal para o cálculo de parâmetros. Como os valores são baixos, são medidos em ppm (partes por milhão).

Indicadores do objetivo 2: O percentual de contratações que cumpriram o requisito informa o percentual de contratados que atenderam todas as exigências na admissão. A expectativa é de seis reposições nos próximos doze meses (rotatividade próxima a 1%, 56 funcionários), esperando-se que não haja reposição com carências, que neste caso deverão ser supridas no treinamento. O indicador de treinamento é calculado computando-se todas as horas assistidas e dividindo-se pelo número de colaboradores. Computam-se apenas as horas de treinamento referentes a desenvolvimento de pessoal, não a suprimento de carências, admitindo-se distribuição uniforme das horas entre os colaboradores. Os demais indicadores são: o percentual de horas de afastamento por acidente, o percentual de horas não trabalhadas por ausência e o percentual de horas cumpridas em um mesmo posto de trabalho por mais de um colaborador, devido à demissão. Nos quatro últimos indicadores são considerados os últimos doze meses, evitando que puntualidades distorçam a medição.

Indicadores do objetivo 3: Como o tempo-padrão, o tamanho do mix-padrão é uma variável *proxi* determinística. O mix-padrão é o conjunto dos produtos que são fabricados independente de venda. Outros produtos só são fabricados sob encomenda. O mix-padrão representa o conceito de flexibilidade em produto, pois tenta agregar as características específicas de muitos produtos em poucos produtos. Reduções no tempo-padrão e no mix-padrão se refletirão em melhorias no desempenho e na eficiência energética e de mão-de-obra.

As unidades vendidas, o percentual de tempo de *set-up* e o percentual de ordens cumpridas sem interrupção são obtidos por registro administrativo. Como o número de ordens por mês é baixo, este indicador considera os últimos seis meses. Com o objetivo de atenuar as variações e impedir reações exageradas, as unidades vendidas são calculadas por média móvel de três meses, mas a relação entre a venda e as ordens de fabricação não é direta e linear. As vendas são atendidas por centros de distribuição, que emitem pedidos de reposição de estoque, agregados pelo PCP em ordens de fabricação. A lógica de reposição dos CD's é de revisão contínua: atingido um ponto de pedido, as faltas são quantificadas e geram os pedidos.

O ritmo de produção é calculado pelo modelo do capítulo 4.

Indicadores do objetivo 4: Para o cálculo é necessário o modelo do capítulo 4. Coletaram-se os dados de entrada, saída e quantidade produzida das vinte e cinco mais recentes ordens de fabricação e calcularam-se o tempo de atravessamento médio simples de ordens e ponderado por quantidade produzida. Os valores são apresentados na tabela 35. Como os tempos médios diferem por menos de 5%, adota-se, por parcimônia, o tempo de atravessamento médio simples de ordens, correspondendo a 1,5 mês. A medição continua ao trocar-se a ordem mais antiga pela ordem mais recentemente concluída.

Tabela 35 - Informações para a modelagem de manufatura

ordem	quantidade	início	fim	TL simples	TLwq
1	3.970	02/08/04	30/08/04	28	111.160
2	5.360	03/08/04	22/09/04	50	268.000
3	4.770	03/08/04	28/09/04	56	267.120
4	12.500	05/08/04	21/09/04	47	587.500
5	5.420	12/08/04	28/09/04	47	254.740
6	5.420	12/08/04	14/09/04	33	178.860
7	21.500	17/08/04	05/10/04	49	1.053.500
8	3.055	31/08/04	19/10/04	49	149.695
9	5.300	03/09/04	02/11/04	60	318.000
10	12.500	11/09/04	29/10/04	48	600.000
11	3.385	12/09/04	03/10/04	21	71.085
12	3.850	12/09/04	14/10/04	32	123.200
13	11.350	14/09/04	05/11/04	52	590.200
14	15.750	17/09/04	13/11/04	57	897.750
15	2.300	18/09/04	04/11/04	47	108.100
16	12.330	21/09/04	14/11/04	54	665.820
17	14.930	22/09/04	06/11/04	45	671.850
18	7.930	01/10/04	25/11/04	55	436.150
19	5.550	03/10/04	27/10/04	24	133.200
20	11.440	11/10/04	20/11/04	40	457.600
21	13.415	15/10/04	10/12/04	56	751.240
22	8.200	15/10/04	26/11/04	42	344.400
23	12.230	21/10/04	16/12/04	56	684.880
24	15.000	22/10/04	06/12/04	45	675.000
25	7.550	09/11/04	14/12/04	35	264.250
média	9.000			45,12	47,39
cv	0,56			0,24	0,65

Fonte: elaborada pelo autor com dados do sistema de informações da empresa

O desempenho médio de saída é calculado dividindo-se o total produzido, 225.005 unidades, pelo número de meses de saída, 3,53 meses, chegando-se a 63.680 peças por mês. Pela equação do funil, o inventário médio é de $[1,5 \times 63.680] = 95.780$ unidades.

Para calcular o valor esperado para o intervalo entre saídas de ordens ajustam-se distribuições de probabilidade que tenham relação teórica com a situação em estudo. Por exploração metodológica, também ajustaram-se os intervalos entre entradas de ordens. Adotou-se o pressuposto de ambos serem processos de Poisson, atribuindo-se 0,5 dia aos intervalos entre entradas e saídas que ocorreram no mesmo dia.

Com o auxílio do software ProConf 98, testaram-se ajustes às distribuições exponencial, gamma, lognormal e normal, pois julgou-se que os pressupostos destas distribuições poderiam ser encontrados nos processos de liberação e conclusão de ordens. Na tabela 36 apresentam-se os valores esperados calculados pelos modelos que não foram rejeitados. Adota-se o modelo gamma para ambos os casos por apresentar o maior nível de significância e por corresponder a situações que podem ocorrer na liberação e na conclusão de uma ordem: o encerramento se dá quando se encerra a última das diversas tarefas que ocorrem em diversas disciplinas. Observa-se que os valores esperados de intervalos entre entradas e saídas do sistema produtivo são muito próximos, o que aponta para um sistema equilibrado.

Tabela 36 - Cálculo dos intervalos de entrada e saída de ordens

	Valor esperado em dias	
	entradas	saídas
gamma	4,61	4,66
lognormal	4,55	
exponencial		4,52

Fonte: elaborada pelo autor

O passo seguinte é verificar o equilíbrio do sistema de manufatura. Caso não haja equilíbrio entre entradas e saídas, será necessário dividir o tempo gasto nas ordens em suas parcelas constituintes, lançando-se mão das técnicas desenvolvidas do capítulo 4 para se chegar aos funis responsáveis pelos desequilíbrios.

Usa-se o diagrama de resultados, as equações lineares obtidas por mínimos quadrados e os respectivos R^2 da figura 32. Por observação visual, conclui-se que o sistema produtivo apresenta razoável equilíbrio. A tendência de geração de inventário no período é de 7,6%, obtida pela razão entre os coeficientes angulares de entrada e de saída (2.306/2.142). Pelas expressões lineares chega-se a um tempo de atravessamento médio de 46,53 dias e pela equação do funil chega-se a um inventário médio de 98.777 unidades, valores que são próximos aos calculados pelo método analítico, usado na medição estratégica. Como há

equilíbrio decidiu-se tratar toda a manufatura como um único funil, não sendo necessário desdobrar o tempo total em uma soma de tempos parciais.

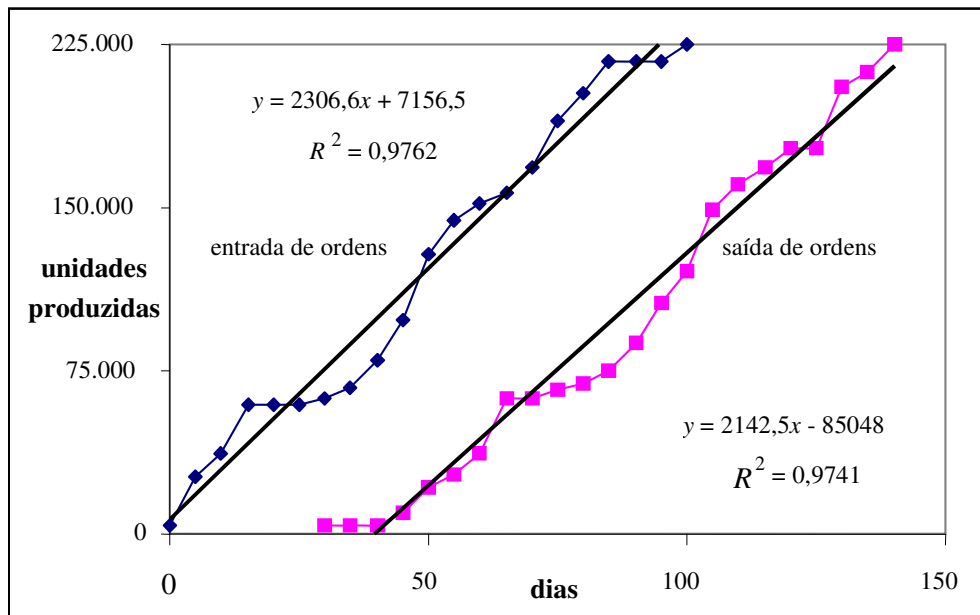


Figura 32: Diagrama de resultados da manufatura

Fonte: elaborada pelo autor

Observa-se que o *takt-time* (intervalo de tempo entre duas saídas) é próximo a 23 segundos (155 unidades por hora). Uma ordem média de 9.000 unidades deterá um tempo de processamento de cerca de 3,5 dias (tempo-padrão mais 9.000 vezes o *takt-time*). Como o tempo de atravessamento médio é de 45 dias, conclui-se que mais de 90% deste tempo corresponde a esperas em filas diretas e interrompidas. Espera-se que o valor esperado e a variabilidade do tempo de atravessamento sejam reduzidos pela redução das interrupções e pela adoção de software e algoritmos de seqüenciamento. Também se espera que a redução de inventário em processo reduza o valor esperado do tempo de atravessamento.

Indicadores do objetivo 5: Espera-se que o percentual de implantação da ISO TS 9000 seja sempre crescente. Após atingir 100%, o indicador deverá ser substituído por uma variável *proxi* que represente o uso e a manutenção da certificação, tal como o número de não-conformidades ativas ou o tempo médio até a resolução de não-conformidades. Também observa-se que os 3,2% de participação no mercado automobilístico geram 4,9% da receita, o que confirma o acerto do objetivo de entrada neste mercado.

Indicadores do objetivo 6: Os indicadores deste objetivo são calculados por operações simples, nas quais se divide a energia elétrica medida por instrumentação de campo e a mão-

de-obra aplicada, medida por registro administrativo, respectivamente pelo faturado e pela produção total do período. O período de medição é de um mês.

O pré-controle se inicia avaliando-se a capacidade dos quinze cursos de ação em superar as lacunas dos indicadores. Esta capacidade é categorizada como [*nula, fraca, média, forte, plena*] e associada aos valores [0%; 25%; 50%; 75%; 100%], assumindo-se a premissa que o curso preencherá entre 0 e 100% da lacuna respectivamente. Se o resultado de um curso de ação exceder a lacuna, limita-se o valor a 100%.

O grupo de estrategistas avaliou cada curso quanto à sua efetividade e as avaliações são apresentadas nas tabelas 37 e 38. Também são apresentados os méritos e os desencaixes dos cursos. O mérito de um curso é a soma dos produtos das lacunas de indicadores pelas capacidades de superação destas lacunas, ou o quanto o curso eleva o desempenho global, em pontos percentuais (pp). O desencaixe considera os investimentos materiais e com pessoal.

Pela análise dos decisores, o conjunto de cursos de ação acrescenta cerca de 39 pp, pré-alimentando um desempenho estratégico de cerca de 88%. Parte-se para o pré-controle.

Dois tipos de ações de pré-controle são requeridas, ações táticas e ações estratégicas. As ações táticas tratam de modificar os cursos de ação e as ações estratégicas acrescentam ou retiram cursos de ação da estratégia. Taticamente pode-se apontar alternativas.

No primeiro objetivo, a lacuna de desempenho do indicador de refugio é apenas parcialmente preenchida pelos cursos propostos. Entende-se que o curso de ação 14, aquisição de novos equipamentos, deva incluir um estudo prévio de capacidade, o que garantiria plenamente a superação. No segundo objetivo, as lacunas de desempenho nos indicadores de treinamento e de absenteísmo podem ser preenchidas pela inclusão de um módulo comportamental, pois o treinamento previsto é exclusivamente técnico. No terceiro objetivo, a lacuna de desempenho no indicador de vendas está sendo preenchida pela entrada no mercado automobilístico e pela nomeação de novos representantes. Entende-se que deva haver uma ação mais incisiva de mercadologia, principalmente em regiões desenvolvidas do país. Os quarto e quinto objetivos parecem estar sendo totalmente atendidos pelos cursos de ação propostos. O sexto objetivo é atendido parcialmente e requer controle amplo.

Tabela 37 - Capacidades dos cursos de ação, 1ª parte

indicadores	Capacidade de superação das lacunas dos indicadores								
	lacuna de desempenho do indicador	desgargalamento da fábrica	modificar lay-out da fábrica	introduzir sistema de remuneração variável	treinamento em metrologia e interpretação de desenho	treinamento em gerência de produção	treinamento sobre os projetos dos produtos	identificar representantes na região norte do Brasil	introduzir programação fina de produção
tempos-padrão produto	5,43%	0,25	-	-	-	-	0,25	-	-
disponibilidade processos	5,15%	-	-	-	-	-	-	-	-
refugo	1,04%	-	-	-	0,25	-	0,25	-	-
retrabalho	1,78%	-	-	-	0,25	-	0,25	-	-
% cumpr. requ. contrat.	1,47%	-	-	-	-	-	-	-	-
tempo treinamento	1,47%	-	-	-	0,5	0,25	-	-	-
absenteísmo	0,32%	-	-	0,75	-	-	-	-	-
% horas afastamento acidentes	0,32%	-	-	-	-	-	-	-	-
rotatividade	0,51%	-	-	1	-	-	-	-	-
unidades vendidas	0,20%	-	-	-	-	-	-	0,25	-
% tempo de set-up	0,00%	0,25	-	-	-	0,25	-	-	0,25
tamanho do mix-padrão	0,08%	0,25	-	-	-	0,25	-	-	0,5
% OF cumpridas s/ interrupção	0,51%	0,25	0,25	-	-	-	-	-	-
ritmo de produção	0,63%	0,5	0,25	-	-	-	-	-	-
t. atrav. médio de ordens	13,2%	0,25	0,25	-	-	-	-	-	0,25
variab. no t.atrav. ordens	6,44%	0,25	0,25	-	-	-	-	-	0,25
inventário médio	3,44%	0,25	0,25	-	-	-	-	-	0,25
desempenho médio	1,65%	0,25	0,25	-	-	-	-	-	0,25
% de vendas unid. autom.	0,39%	-	-	-	-	-	-	-	-
% de vendas \$ autom.	0,52%	-	-	-	-	-	-	-	-
% implantação da ISO TS	0,16%	-	-	-	-	-	-	-	-
kWh/unid. produzida	2,18%	-	-	-	-	-	-	-	-
kWh/\$ faturado	2,31%	-	-	-	-	-	-	-	-
H.H/unidade produzida	0,68%	-	0,25	-	-	-	-	-	-
H.H/\$ faturado	0,53%	-	0,25	-	-	-	-	-	-
mérito do curso de ação (pp)		8,01	6,78	0,75	1,44	0,39	2,06	0,05	6,23
desencaixe (1.000 R\$)		160	20	300	30	20	10	120	200

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 38 - Capacidades dos cursos de ação, 2ª parte

indicadores	Capacidade de superação das lacunas dos indicadores								
	lacuna de desempenho do indicador	criar área para estoque de matéria-prima	criar sistema de informação de PCP	implantar norma ISO TS 9000	automatizar carga e descarga de máquinas	adquirir novos equipamentos de transporte interno	adquirir novos equipamentos de produção	reformular máquinas em mortalidade senil	potencial de superação da lacuna
tempos-padrão produto	5,43%	-	-	-	-	-	-	-	50%
disponibilidade processos	5,15%	-	-	-	-	-	0,25	-	25%
refugo	1,04%	-	-	-	-	-	0,25	-	75%
retrabalho	1,78%	-	-	-	-	-	0,25	-	75%
% cumpr. requ. contrat.	1,47%	-	-	-	-	-	-	-	0%
tempo treinamento	1,47%	-	-	-	-	-	-	-	75%
absenteísmo	0,32%	-	-	-	-	-	-	-	75%
% horas afastamento acidentes	0,32%	-	-	-	0,25	0,25	-	-	50%
rotatividade	0,51%	-	-	-	-	-	-	-	100%
unidades vendidas	0,20%	-	-	0,25	-	-	-	-	50%
% tempo de set-up	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	75%
tamanho do mix-padrão	0,08%	-	-	-	-	-	-	-	100%
% OF cumpridas s/ interrupção	0,51%	0,25	-	-	-	-	-	-	75%
ritmo de produção	0,63%	-	-	-	0,25	-	-	-	100%
t. atrav. médio de ordens	13,2%	0,25	-	-	-	-	-	-	100%
variab. no t.atrav. ordens	6,44%	0,25	-	-	-	-	-	-	100%
inventário médio	3,44%	0,25	-	-	-	-	-	-	100%
desempenho médio	1,65%	0,25	-	-	-	-	-	-	100%
% de vendas unid. autom.	0,39%	-	-	1	-	-	-	-	100%
% de vendas \$ autom.	0,52%	-	-	1	-	-	-	-	100%
% implantação da ISO TS	0,16%	-	-	1	-	-	-	-	100%
kWh/unid. produzida	2,18%	-	-	-	-	-	0,5	-	50%
kWh/\$ faturado	2,31%	-	-	-	-	-	0,5	-	50%
H.H/unidade produzida	0,68%	-	0,25	-	0,25	-	0,25	-	100%
H.H/\$ faturado	0,53%	-	0,25	-	0,25	-	0,25	-	100%
mérito do curso de ação (pp)		6,23	0,30	1,12	0,54	0,08	4,54	0,00	38,6
desencaixe (1.000 R\$)		40	50	50	200	40	500	80	

Fonte: elaborada pelo autor

Estrategicamente pode-se apontar alternativas.

Percebe-se uma inconsistência no primeiro objetivo, relativo ao indicador de disponibilidade. Não há dúvida que a disponibilidade do processo é limitada pela disponibilidade de equipamentos de alta tecnologia, responsáveis pela produtividade de setores. No entanto, as reformas são previstas em máquinas que possuem redundância operacional e cujo custo de manutenção é elevado. Portanto, o curso de ação 15 não aumentará a disponibilidade, mas reduzirá o custo da manutenção, o que também é válido, mas não é suficiente para afetar os indicadores de custo de manufatura (hh/unidade). Este curso, como proposto, talvez interesse à estratégia funcional de finanças, mas não à estratégia de manufatura. Requer-se um novo curso de ação, a adoção de práticas de manutenção preventiva e preditiva nas máquinas tecnológicas e a compra de peças reservas.

No segundo objetivo, as lacunas de desempenho nos indicadores de contratação e de segurança não estão sendo endereçadas satisfatoriamente. Entende-se que se devam propor novos cursos de ação, tais como uma auditoria nas futuras contratações e, através da CIPA, um programa de prevenção de riscos e de desenvolvimento da saúde ocupacional.

No sexto objetivo, as lacunas de desempenho nos indicadores de eficiência energética estão sendo pouco influenciadas pelos cursos de ação. Propõe-se um estudo de conservação de energia e a criação da CICE, a comissão interna de conservação de energia, que, aos moldes da CIPA, deve discutir e propor alternativas para a redução do consumo energético.

Caso todas as correções sugeridas na estratégia sejam adotadas, entende-se que a pré-alimentação se aproxime de 100%, o que aumentaria a chance de que a execução estratégica atinja aos objetivos fixados para a manufatura. Como não faz parte do escopo de pesquisa o acompanhamento longitudinal da execução da estratégia, limita-se a análise ao pré-controle. Em um projeto de pesquisa que acompanhe os ciclos da execução estratégica, seria possível estabelecer continuamente correções nos cursos de ação previstos, pois os principais campos de força que interferem na estratégia estão mapeados e sua intensidade é conhecida.

5.1.3 Aplicação dos passos 5 e 6: priorização e execução da estratégia

No **passo 5** priorizam-se os cursos de ação, segundo seus méritos e restringidos pelo desencaixe, orçado no planejamento estratégico existente. A priorização pode ser necessária, porque, devido aos altos desencaixes, a empresa pode decidir não disponibilizar todo o

recurso financeiro exigido. Será usado um modelo em que cada curso de ação ou entra totalmente ou sai totalmente da solução. Inicia-se com uma restrição de descaixe total, relaxando-se a restrição até que todos os cursos de ação tenham emergido, formando uma ordem de prioridade. Para exemplificar a técnica, desconsideram-se eventuais modificações originadas na fase de pré-controle, pois os eventuais novos descaixes não são disponíveis.

O modelo de programação binária é dado pelas equações 13 e 14:

$$\max \sum_{i=1}^{15} X_i \cdot \left[\sum_{j=1}^{25} V_{ij} \cdot IR_j \right] \quad \text{Equação 13;}$$

sujeito à:

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \cdot b_i \leq B, \text{ restrição de descaixe} \quad \text{Equação 14;}$$

nas quais:

$X_i \in [1, 0]$, representando se o curso de ação i será ou não realizado;

$V_{ij} \in [1, 0,75, 0,5, 0,25, 0]$, representando a capacidade de superação de lacuna atribuída ao curso de ação i em relação ao indicador j ;

IR_j = importância relativa do indicador j , j variando de 1 a 25; e

b_i = descaixe do curso de ação i , i variando de 1 a 15.

Caso os cursos de ação não sejam binários, outros modelos deverão ser desenvolvidos. A programação linear aceitaria a execução proporcional de cursos de ação. A programação inteira aceitaria a múltipla execução de cursos de ação elementares. Caso se dividam os cursos de ação em sub-cursos, com recursos e resultados cumulativos e execução condicional, formando uma rede lógica, recorre-se a *and-or graphs*. O modelo atual é puramente binário e para sua execução foi usado o comando *solver* do software Excel®.

Na tabela 39 apresentam-se os resultados da execução do modelo. Observa-se na tabela o nível de relaxação da restrição, variando entre 10 e 90%, o custo associado à escolha, a resposta da função-objetivo e o teor da escolha. Chama a atenção o fato de, com apenas 30% de investimento, a função-objetivo já ter atingido mais de 85% do seu valor máximo.

O **passo 6** se materializará à medida que os planos sejam executados e novas rodadas de medição e controle sejam conduzidas. Não é objetivo desta tese acompanhar o caso longitudinalmente no tempo, limitando-se o estudo ao momento atual.

Tabela 39 - Priorização dos cursos de ação

relaxação	custo	FO	cursos de ação escolhidos
10%	170	0,197	2; 4; 5; 6; 9; 11;
20%	330	0,278	1; 2; 4; 5; 6; 9; 11;
30%	530	0,340	1; 2; 4; 5; 6; 8; 9; 11;
40%	620	0,342	1; 2; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 11; 13;
50%	880	0,349	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 11;
60%	1.080	0,377	1; 2; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 11; 14;
70%	1.270	0,381	1; 2; 4; 5; 6; 8; 9; 11; 12; 13; 14;
80%	1.420	0,386	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 11; 13; 14;
90%	1.620	0,389	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14;

Fonte: elaborada pelo autor

5.2 Discussão

O objetivo desta seção é discutir o caso. A discussão se inicia pela análise da integração da metodologia proposta com os sub-sistemas existentes na empresa. A seguir analisam-se os resultados e finalmente analisa-se o processo de pesquisa e as implicações metodológicas surgidas ao longo do estudo do caso. Após a discussão, no último capítulo, chega-se à hipótese de trabalho que deverá ser o principal produto de pesquisa desta tese.

A abordagem proposta interage com ao menos quatro sub-sistemas atualmente em uso na empresa: o planejamento estratégico, os sistemas de informação manuais de PCP e de manutenção e o sistema de informações automático, via tecnologia da informação.

No processo de planejamento é feita uma análise ambiental rigorosa, baseada em opiniões qualitativas de estrategistas, em práticas de *benchmarking*, subsidiada por séries históricas internas e externas. O resultado do processo é um conjunto de objetivos qualitativos e um conjunto de cursos de ação com metas numéricas, cronogramas e um indicador de

desempenho por curso, em um sistema de medição de desempenho levemente estruturado. As faixas de desempenho para os indicadores foram escolhidas com base nas informações pertencentes ao planejamento estratégico e segundo a opinião dos mesmos decisores e seus critérios de decisão. Vale comentar que, ao determinar-se a faixa ótima para um indicador, está se determinando a faixa desejada (*set-point*) e não a melhor faixa possível, pois esta pode exigir investimento excessivo, incompatível com o retorno esperado.

O processo de execução estratégica não é realimentado, ou seja, os cursos são postos em prática sem serem modificados por variações no ambiente e na execução, sendo o avanço medido apenas por um indicador por curso, não integrado com outros indicadores. Como se viu, pode ocorrer que o indicador de um curso de ação esteja sendo afetado por outros cursos, sem que o gestor se aperceba da interferência.

O sub-sistema de informação de PCP é manual e coleta dados de fábrica sobre o andamento das ordens de fabricação. Os dados se referem às datas de início, interrupções, término de processamentos e resultados de inspeções. Estes dados são alimentados manualmente no sub-sistema automatizado e serviram para o cálculo dos indicadores de refugos, retrabalhos, *set-up*, interrupções de ordens, ritmo de produção, tempos de atravessamento, inventário e desempenho. O cálculo do tempo de atravessamento e inventário foi manual com dados de entrada, transferências e saída das últimas vinte e cinco OF's, segundo o modelo do capítulo 4.

O curso de ação 10, *criar informações de PCP*, propõe a compra de captadores de campo, baseados em tecnologia de leitura de códigos de barras, que registrem e transfiram automaticamente os dados de campo. Não é previsto, mas é possível incluir, um módulo gráfico de realimentação da operação de manufatura, nos moldes apresentados no capítulo 4. Com isto seria possível individualizar por funil o cálculo dos tempos de atravessamento, inventários e desempenhos. Seria possível, principalmente, visualizar em tela eventuais desequilíbrios no sistema como um todo e em funis individuais.

Quanto ao sub-sistema de informações de manutenção, a empresa possui registros e processamentos manuais que apóiam decisões de manutenção. Entende-se que este sub-sistema é precário e atende mal a uma gestão estratégica da manutenção, conforme proposta em Sellitto (2005), pois o modelo de cálculo opera com médias aritméticas, não contemplando o caráter probabilístico das grandezas. Pode-se chegar a decisões inócuas, tais como o curso de ação 15, que reduz o custo de manutenção mas não aumenta a disponibilidade da manufatura. Entende-se que se possa sugerir um sistema de informações de manutenção que, além de coletar os dados de campo, tenha capacidade de modelar grandezas aleatórias,

chegando corretamente às funções de confiabilidade e manutenibilidade individuais e sistêmicas. Existem softwares comerciais de modelagem que podem ser integrados a bancos de dados e cumprir a especificação sugerida.

Finalmente, o sub-sistema automatizado é o repositório das demais informações utilizadas no caso. Informações *a priori*, tais como tempos-padrão de produtos e tamanho do mix-padrão, são nele registradas. Estas grandezas dependem de flexibilidade em projeto e em processo e serão recalculadas sempre que uma modificação relevante for concluída. Informações *a posteriori*, tais como as grandezas de campo, são coletadas diariamente e processadas mensalmente, formando séries históricas.

Os indicadores de recursos humanos são calculados dividindo-se o número de homens.hora que foram corretamente contratados, que estiveram ausentes, afastados do trabalho por acidente ou que foram substituídos, pelo número de homens.hora contratados no mês. Quanto ao indicador de treinamento, calcularam-se as horas médias de treinamento por colaborador, assumindo-se o pressuposto que o treinamento seja uniformemente distribuído entre a equipe e que seja coerente com o objetivo estratégico. Treinamentos incoerentes com a missão da equipe ou que devam suprir carências de contratação não devem ser registrados.

Os indicadores de vendas, % de vendas e de faturamento no setor automobilístico são informados pelo setor comercial e processados no sistema de informação. O percentual de avanço da implantação da ISO TS 9000 é informado pela equipe de gerenciamento de projeto. Por fim, os indicadores de eficiência são calculados dividindo-se os quilowatts-hora mensurados por instrumentação específica e os valores faturados no mês pelo número de unidades fabricadas e pelo número de homens.hora empregados na fabricação.

5.2.1 Discussão dos resultados

O objetivo desta seção é reunir elementos de aprendizagem extraídos dos resultados da aplicação e refinar o método, consolidando-o como uma hipótese de trabalho.

Do ponto de vista estrutural, o sistema de medição de desempenho se compõe de trinta e dois elementos, o desempenho global, seis desempenhos de objetivos e vinte e cinco indicadores. A relação entre os elementos é hierárquica. O desempenho global é o elemento

limítrofe de saída e os indicadores são os elementos limítrofes de entrada. O sistema de controle de estratégia é composto por cinco elementos com relações seqüenciais: o pré-controle, a execução, a medição do desempenho, a comparação e o controle da estratégia. Por ser realimentado, o sistema de controle de estratégia não possui superfície.

Do ponto de vista da estrutura de competitividade, um dos objetivos, *reduzir atrasos em ordens de fabricação*, compreende variáveis que já se manifestaram no campo de competição. Outros três objetivos de competição são apriorísticos: *melhorar a resposta dos atuais processos*; *qualificar colaboradores*; e *tornar equipamentos mais eficientes*. Os outros dois objetivos, *aumentar a carga da fábrica* e *entrar no mercado automobilístico*, mesclam as duas visões, pois se valem de preparação e capacitação prévias, aumento no ritmo de produção e certificação pela norma ISO TS, para modificar variáveis de campo que decidem a competição, unidades vendidas e presença no setor automobilístico.

Entende-se que o caso evidencie a visão de Ferraz, Kupfer e Haguenuer (1996), segundo a qual a competitividade é construída por variáveis apriorísticas, ligadas à capacitação e preparação prévia para o embate, que modificarão as variáveis de campo que decidem o embate. Também entende-se que a ponderação de objetivos realizada operacionalize a teoria de interessados de Ansoff (1977) e que o objetivo de entrada do mercado automobilístico seja inovador, enquanto que todos os demais objetivos sejam de estabilidade, segundo a visão de Bethlem (1998), ambas já mencionadas.

Quanto ao resultado da aplicação do método, concluiu-se que a estratégia original, se aplicada, acrescentaria cerca de 39 pontos percentuais aos 49% da medida original, chegando-se a uma expectativa de desempenho de 88% dos objetivos estratégicos de manufatura. A estratégia original superaria cerca de 80% da lacuna de desempenho, próxima a 51 pp. Com o pré-controle a expectativa de superação da lacuna chega a 100%. Não há referencial para se dizer se os 88% verificados tratam-se ou não de um bom resultado.

Quanto à efetividade das ações, a execução de apenas oito cursos já garante mais de 85% do resultado total. Em uma eventual análise conjunta com a estratégia funcional de finanças, possivelmente alguns dos cursos não seriam realizados. Em uma análise exclusivamente do ponto de vista da manufatura, o curso de ação 15 não é viável e não deve ser realizado. Conclui-se que os cursos de 1 a 14 são a estratégia pretendida, o curso 15 é a estratégia abandonada e eventuais novos cursos de ação são a estratégia emergente, como preconizado em Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2000).

Os resultados dos objetivos funcionais são a base para uma eventual reformulação estratégica se, após a execução dos cursos, devido a pressupostos inválidos assumidos na fase de planejamento, o resultado da estratégia de negócios não tiver sido atingido.

Os desempenhos agregados de objetivos são apresentados na tabela 40. Nesta tabela repetem-se as importâncias relativas e acrescentam-se os desempenhos absolutos, em pp, e relativos, obtidos dividindo-se o desempenho absoluto pelo desempenho máximo, a importância relativa. O resultado é apresentado na análise bidimensional da figura 33, construída como no capítulo 3, cujos limites apóiam a análise visual.

Tabela 40 - Resultados dos objetivos estratégicos

objetivo	importância relativa	desempenho absoluto	desempenho relativo
processos	38,57%	25,16 pp	65,24%
colaboradores	11,78%	7,68 pp	65,24%
carga	4,61%	3,19 pp	69,14%
atrasos	24,78%	0,00 pp	0,00%
automobilístico	3,18%	2,11 pp	66,46%
eficiência	17,08%	11,38 pp	66,65%
soma	100,00%	49,53 pp	

Fonte: elaborada pelo autor

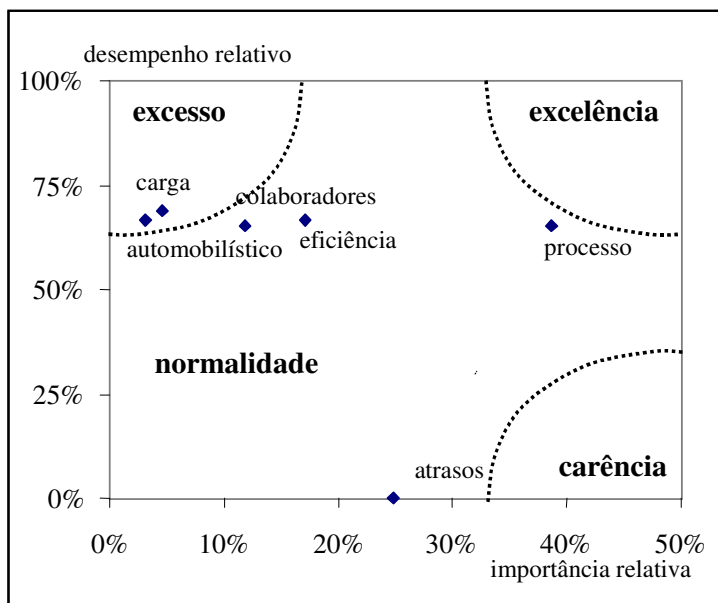


Figura 33: Análise bidimensional da execução estratégica original

Fonte: elaborada pelo autor

Chama a atenção na figura a proximidade da região de carência do objetivo *reduzir atrasos de fabricação*. Também chama a atenção o acúmulo de objetivos próximos à região de excesso, o que pode apontar para uma má distribuição de recursos, pois até agora parece ter-se dado atenção a objetivos de menor importância, tais como entrar no mercado automobilístico, aumentar a carga da fábrica e qualificar colaboradores e é possível que se tenha negligenciado um objetivo de mais importância, tal como a redução de atrasos.

O objetivo de eficiência parece estar um pouco mais bem atendido e o objetivo de processo, que possui uma importância bem maior do que os outros, aproxima-se da região de excelência, o que pode ser uma vantagem competitiva. Os decisores, consultados acerca deste resultado, manifestaram concordância intuitiva: o processo tem sido priorizado, atrasos de fabricação têm sido negligenciados, enquanto que os demais objetivos, principalmente aumento de vendas e entrar no setor automobilístico, têm sido enfocados pela gestão.

Outro modo de apresentar os resultados é como na figura 34. Esta forma de expressão, além de indicar as lacunas individuais, traz uma área hachurada proporcional à lacuna estratégica total e ao esforço que deverá ser despendido para a sua superação.

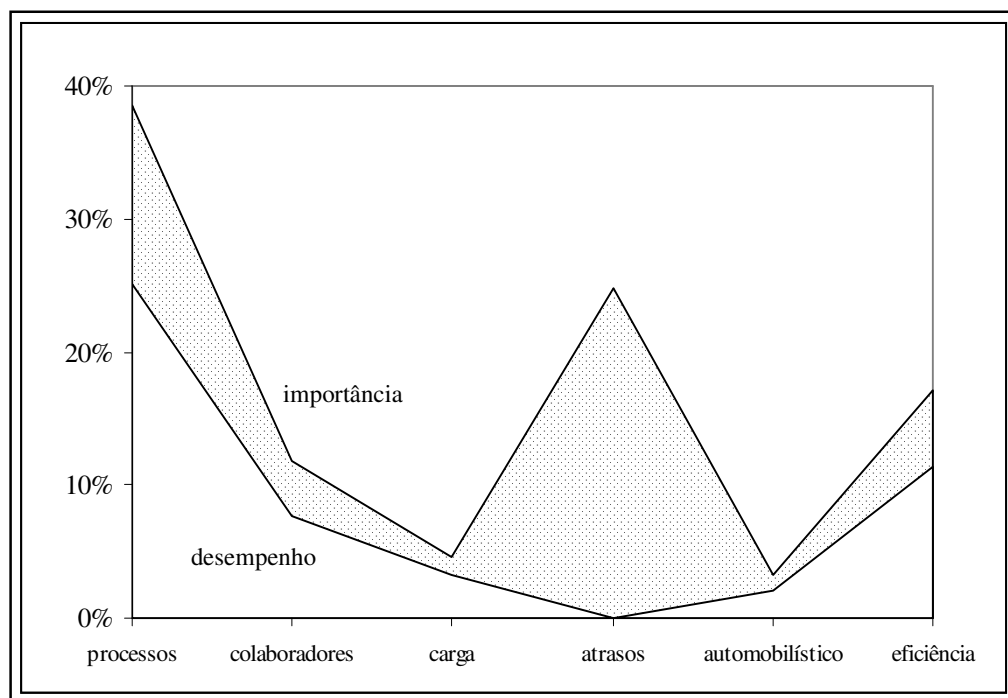


Figura 34: Visualização integrada das lacunas de desempenho

Fonte: elaborada pelo autor

Um resultado que também pode ser discutido é o tempo de atravessamento.

Para o tempo médio de ordens chegou-se a 45,12 dias e coeficiente de variação de 0,24, o que resulta em um desvio-padrão de 10,82 dias. É de interesse chegar a um intervalo para o tempo de atravessamento para 95% das ordens. Como o conjunto agregado de ordens não se ajustou a uma distribuição normal das quantidades, decidiu-se separá-las em duas famílias, uma de demanda inferior e outra de demanda superior a 10.000 unidades. Ambas se ajustaram a distribuições normais, cujos parâmetros e intervalos de confiança a 95% são apresentados na tabela 41. A família de baixa demanda inclui lotes fora do mix-padrão e apresenta variabilidade superior à da família de alta demanda.

Para a medição estratégica é suficiente o tempo de todas as ordens agregadas, mas os intervalos separados são mais adequados para um eventual cálculo de prazo de entrega.

Tabela 41 - Tempos de atravessamento de famílias de ordens

	Ordens < 10.000		Ordens > 10.000	
	Quantidade	TLs dias	Quantidade	TLs dias
	2.300	47	11.350	52
	3.055	49	11.440	40
	3.385	21	12.230	56
	3.850	32	12.330	54
	3.970	28	12.500	47
	4.770	56	12.500	48
	5.300	60	13.415	56
	5.360	50	14.930	45
	5.420	47	15.000	45
	5.420	33	15.750	57
	5.550	24	21.500	49
	7.550	35		
	7.930	55		
	8.200	42		
média	5.147	41,36	13.904	49,91
cv	0,35	0,30	0,21	0,11
IC 95%	65,89 a 16,82 dias		60,73 a 39,09 dias	

Fonte: elaborada pelo autor

Pode-se validar o cálculo do tempo de atravessamento pela lei de Little, oriunda da teoria das filas (equação 15), que relaciona o número de clientes n em um sistema de fila, a taxa λ de chegada de clientes e o tempo t esperado de permanência no sistema. Tomando a manufatura como um sistema de filas de canal único e fase única, o número de clientes no sistema é o número de ordens em espera e em processamento, o tempo de permanência no sistema é o tempo de atravessamento de ordens e a chegada de clientes é a chegada de ordens.

$$n = \lambda.t$$

Equação 15;

O intervalo esperado entre chegadas de ordens é de 4,61 dias e a taxa de chegada de ordens λ é seu recíproco, 0,217 ordens por dia. Como as equações de Little e do funil são estruturalmente similares, usa-se o valor obtido pelo método gráfico para o inventário médio, 98.777 unidades e uma ordem média de 9.000 unidades, chegando-se a $n = 10,97$ ordens no sistema e a $t = 50,6$ dias.

Este tempo pode ser interpretado tendo em mente a definição de Wiendahl (1995) para o tempo de atravessamento ponderado médio: é o tempo esperado para que uma unidade de valor atravesse a manufatura. A unidade de valor é a quantidade produzida e 47,39 dias é o tempo para uma peça atravessar a manufatura. Para que toda a ordem atravesse, deve-se acrescentar nove mil vezes o *takt-time* (23 segundos), totalizando 3,3 dias. O tempo total da ordem passa a ser de 50,7 dias, próximo à lei de Little.

Outro resultado que pode ser discutido diz respeito ao diagrama de resultados.

Pelas declividades das linhas de tendência chegou-se a uma tendência de acréscimo de inventário no período de 7%. Comparando-se com os valores obtidos no capítulo 4, de mais de 75% de acréscimo em cem dias, o valor de 7% não parece ser excessivo, não devendo ser creditado a um desequilíbrio estrutural da manufatura. Não se investigou o comportamento das vendas, não sendo possível afirmar que um acréscimo de vendas tenha causado o acréscimo de entradas na manufatura. Como o desempenho médio é próximo a 2.700 unidades por dia, para consumir os 7% de inventário em desequilíbrio basta programar três dias extras de operação. Entende-se que esta não deva ser uma preocupação da gestão, pois o desequilíbrio poderá ser eliminado ao adotarem-se os cursos de ação que reduzem o valor médio do inventário.

Entende-se que a manufatura deva priorizar a redução do valor médio do inventário, pois 95.000 unidades correspondem a um abastecimento de quase um mês e meio de material e o maior intervalo entre entradas é de 14 dias úteis (ordens 24 e 25, na tabela 35). A um ritmo de 2.700 unidades por dia, um inventário de 37.800 unidades é suficiente para garantir a continuidade da operação. A principal razão para a geração de inventário excessivo é a política de se iniciar a fabricação de uma ordem, mesmo que não tenha sido completado o recebimento da matéria-prima, acreditando-se que a mesma chegará ao longo da operação, o que nem sempre ocorre. Nestes casos, autoriza-se um *set-up* e inicia-se outra ordem, que será interrompida tão logo a matéria-prima faltante chegue, retomando-se a ordem original. Este

problema deve ser sanado pelo curso de ação 9, que cria uma área específica de armazenagem de materiais. Só se iniciaria uma nova ordem após a chegada de todos os materiais.

Finaliza-se a discussão dos resultados observando-se que se chegou a uma baixa avaliação do curso 13, cujo objetivo era reduzir acidentes. Tal avaliação pode ser questionada ao fim do processo, introduzindo considerações baseadas em outra objetividade, tal como a importância do fator humano na manufatura. Também se observa que a estrutura ponderada de objetivos e indicadores pode ser usada para programas de remuneração variável, como propõe o curso de ação 3. Uma verba pode ser alocada ao programa e repassada aos colaboradores, segundo regras, na mesma proporção em que cresce o desempenho estratégico.

5.2.2 Discussão metodológica

O objetivo desta seção é reunir elementos de aprendizagem metodológica e discutir alternativas a serem testadas em outras pesquisas no campo do gerenciamento de operações.

Inicia-se a discussão metodológica questionando-se acerca de uma delimitação adotada no início dos trabalhos, o uso exclusivo do método AHP.

O objetivo de se impor esta delimitação estava ligado ao objetivo de pesquisa de tratar exclusivamente com objetividade na decisão. Como a escola francesa admite ambivalências e ambigüidades e a escola americana só admite preferências e indiferenças, limitou-se o universo de alternativas à escola americana. Como autores consideram que o AHP seja o método de apoio à decisão mais usado na ciência do gerenciamento e que seja adequado quando se deseja analisar uma situação de interesse através de mútuas exclusividades, optou-se pelo uso exclusivo do AHP. Seu uso, no entanto, apresentou uma fragilidade.

Concluída a ponderação, e antes do teste de confiabilidade, foi necessário excluir um indicador, pois descobriu-se que o mesmo duplicava o conteúdo apreendido por outros indicadores, introduzindo redundância e perda de exclusividade. A simples retirada do indicador da matriz de julgamentos produziu uma nova matriz, desta vez inconsistente. Foi necessário reunir o grupo de decisores e repetir o julgamento. Caso se tivesse usado um método incremental, uma retirada ou acréscimo não teria requerido um novo julgamento.

Também aponta-se que, no capítulo 3, os decisores foram capazes de chegar a um consenso e a um julgamento único, o que não ocorreu no caso do capítulo 5. Entende-se que o

consenso é desejável, mas se não puder ser obtido, abrem-se alternativas de exploração metodológica, tais como o cálculo da média antes da matriz de julgamentos, além do cálculo da média entre os auto-vetores de maior auto-valor, tal como ora adotado.

Outra situação que se deseja discutir diz respeito ao controle via estratégias múltiplas. Uma abordagem do tema que surge na literatura são os blocos construtivos de Lowson (2002). Segundo o autor, seria possível identificar blocos genéricos recorrentes nas estratégias de uma indústria. A formulação de uma estratégia seria então uma escolha entre blocos construtivos. Ao fim do artigo, o autor instiga pesquisadores a operacionalizarem esta idéia. Entende-se que os achados deste capítulo possam contribuir para que se chegue a um método de operacionalização das idéias subjacentes à abordagem dos blocos construtivos.

Seja uma matriz A , contendo nas linhas os n indicadores e nas colunas todas as m ações estratégicas primitivas de uma indústria a que um grupo focado tenha chegado. Por estudo documental, também já se deve ter chegado às lacunas de desempenho de cada indicador. Nas células, por julgamento categórico, os decisores atribuem a cada ação capacidades percentuais de preenchimento da lacuna. Como o número de ações propostas será muito maior do que o número de ações a que se chegaria por um processo estratégico específico, deve-se esperar que a capacidade somada de todas as ações exceda a 100%, o que permite escolhas. Na última linha coloca-se o custo de cada ação e na última coluna o somatório das capacidades alocadas a cada indicador. Por otimização combinatória escolhem-se as ações ou suas intensidades que preencham todos os indicadores pelo menor custo possível.

Como variante, caso haja contingenciamento de recursos financeiros, escolhe-se a combinação de estratégias primitivas que alcance o máximo preenchimento de indicadores dentro do orçamento restrito e considerando as importâncias relativas. Pode-se acrescentar uma restrição de tempo de execução. Neste caso a importância total deve ser distribuída entre tempo de execução e custo da estratégia primitiva.

Na tabela 42 apresenta-se um formato possível para a matriz A referida.

Outra abordagem sobre estratégias múltiplas é o jogo de encaixes, de Bogaert, Martens e Cauwenbergh (1995). Segundo os autores, cabe aos estrategistas encontrar o melhor encaixe para cada competência e intangível pertencente à empresa em um cenário de peças externas que mudam continuamente.

Entende-se que a matriz A possa ser usada para operacionalizar esta abordagem. Neste caso, as colunas seriam ocupadas por competências e intangíveis pertencentes à empresa. Nas células colocam-se os percentuais da competência que seriam alocados ao indicador e se o intangível pode ou não influenciar aquele indicador. Na última linha da matriz somam-se as

alocações das competências, esperando-se que esta soma ultrapasse a 100%. Conhecendo-se as importâncias relativas dos indicadores, por um modelo de otimização combinatória chega-se à alocação ótima das competências. Para cada indicador pode-se então propor um curso de ação que integre as competências e utilize os intangíveis a ele alocados.

Tabela 42 - Blocos construtivos de estratégias

	estratégia primitiva 1	estratégia primitiva 2	estratégia primitiva m	preenchimento do indicador
indicador de desempenho 1	i_{11}	i_{12}			i_{1m}	Σ
indicador de desempenho 2	i_{21}	i_{22}			i_{2m}	Σ
...						Σ
...						Σ
indicador de desempenho n	i_{n1}	i_{n2}			i_{nm}	Σ
custo da primitiva						
tempo de execução da primitiva						

Fonte: elaborada pelo autor

Prosseguindo na discussão, pode-se também operacionalizar a abordagem da população de estratégias de Beinhocker (1999). Suponha-se que haja histórico do desempenho de mais de uma estratégia funcional usada para o atingimento dos mesmos objetivos de negócios. Esta situação pode ocorrer se, por exemplo, em uma indústria, estratégias de operação baseadas na produção enxuta e na qualidade total tenham sido implementadas e seus resultados avaliados. Os resultados são comunicados pelas lacunas de desempenho dos indicadores ponderados da estratégia de negócios. Caso se coloque nas colunas da matriz **A** a população de estratégias e nas células o percentual de preenchimento de lacunas obtido pelas estratégias, pode-se avaliar a resolubilidade de cada estratégia em relação ao objetivo. Caso se tenha mapeado os campos de força das estratégias em relação aos indicadores, pode-se mesclar as estratégias originais, combinando as partes que mais influenciaram os indicadores.

Sellitto et al. (2004) conduziram um experimento que, se bem que não se refira rigorosamente o que ora se discute, pode lançar alguma luz sobre o tema.

Os pesquisadores construíram, baseados na teoria da produção enxuta, um sistema de avaliação de desempenho de uma estratégia de operação, com trinta indicadores ponderados, e

avaliaram duas vezes os resultados de duas operações da mesma indústria de serviços, transporte coletivo urbano, cujas estratégias foram baseadas na teoria da qualidade total. A avaliação foi feita uma vez pelo sistema dos pesquisadores e outra vez pelo modelo do prêmio Malcolm Baldrige. Com um nível de significância de 95%, a avaliação pelo modelo da produção enxuta foi inferior à avaliação pelo modelo do prêmio Malcolm Baldrige (88% contra 95% e 74% contra 88%), gerando maiores lacunas de desempenho.

Outra discussão que pode ser entabulada diz respeito a cenários alternativos na execução estratégica. Usando a linguagem da teoria das decisões, cenários são estados da natureza aos quais associam-se probabilidades de ocorrência, se houver.

Tem-se comentado sobre cenários de competição que variam. Admitido que o cenário atual tenha um perfil neutro de competição, podem ocorrer perfis extremados, tais como mercados mais recessivos ou mais expansivos do que o atual. Para considerar estas alternativas, os decisores devem repetir os julgamentos, chegando a diversos sistemas de medição de resultados para a mesma execução estratégica, segundo o cenário.

A tabela 43 organiza esta idéia. Nas linhas têm-se duas estratégias alternativas para os mesmos objetivos funcionais, nas colunas têm-se estados da natureza e suas eventuais probabilidades de ocorrências e nas células têm-se os indicadores ponderados para cada caso e a lacuna atual de desempenho que os indicadores produzem. A regra de decisão passa pela escolha da lacuna de desempenho resultante: lacunas maiores mobilizarão mais as forças internas da empresa, enquanto que lacunas menores exigirão menos desenhos.

A título de exploração metodológica os estrategistas da manufatura mecânica refizeram a ponderação da primeira camada, desta vez sob cenários recessivos e expansivos de mercado. Chegou-se a diferentes ponderações para os objetivos estratégicos e lacunas de desempenho, conforme a tabela 44, na qual grifaram-se os dois objetivos mais importantes em cada cenário, segundo os decisores. Caso houvesse probabilidades para os cenários e estratégias diferentes para os mesmos objetivos funcionais, seria possível montar uma tabela de decisão.

Em cenário recessivo, os decisores privilegiaram enfoques internos, reduzindo custos. Em cenário neutro há um enfoque interno, a melhoria da fábrica, e um externo, a redução dos atrasos. Por fim, em cenário expansivo, há dois enfoques externos, aumentar as entregas e melhorar a qualidade das entregas. A importância dada aos colaboradores se mantém em todos os cenários e a importância da eficiência fabril cai à medida que os negócios se expandem, pois passa a ser menos importante a competição baseada em custos.

Vale ressaltar que não é objetivo da análise prever que cenário ocorrerá, mas, dado que um cenário ocorra, saber o que fazer. Também vale observar que a manufatura parece mais

preparada para enfrentar cenários recessivos, pois a lacuna de desempenho apresentada para este cenário é menor do que as outras lacunas.

Tabela 43 - Apoio à escolha da estratégia sob cenários de competição

	cenário mais recessivo	cenário atual	cenário mais expansivo
probabilidades	π_1	π_2	π_3
estratégia 1	SMD ₁₁	SMD ₁₂	SMD ₁₃
estratégia 2	SMD ₂₁	SMD ₂₂	SMD ₃₃

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 44 - Ponderação dos objetivos estratégicos segundo cenários

	cenários		
	recessivo	atual	expansivo
melhorar a resposta dos atuais processos	24,8%	38,6%	13,2%
qualificar colaboradores	11,5%	11,8%	11,3%
aumentar a carga da fábrica	3,3%	4,6%	34,8%
reduzir atrasos em ordens de fabricação	5,8%	24,8%	31,2%
entrar no mercado automobilístico	10,4%	3,2%	6,1%
tornar equipamentos mais eficientes	44,2%	17,1%	3,4%
lacuna atual de desempenho para o cenário	37,67%	50,5%	53,64%

Fonte: elaborada pelo autor

5.2.3 Medição tipológica de estratégias

Deseja-se encerrar a discussão e o capítulo abordando um tópico que parece emergir como pauta de pesquisa em gerenciamento de operações e que pode ser útil como validação das medições até agora realizadas, a medição da tipologia estratégica.

Para Voss (1995), um modo comum de se visualizar uma estratégia de manufatura tem sido a separação entre o processo de formulação da estratégia e a análise do seu conteúdo. De

certa forma, esta postura tem sido assumida nesta tese, pois focou-se muito mais na análise do conteúdo do que no processo de formulação da estratégia.

Voss (1995) vai adiante e propõe que pesquisas em estratégias de manufatura tenham adotado três linhas de ação: (i) competição através da manufatura, na qual fixam-se as capacidades da manufatura segundo os requisitos de competição que a empresa deve cumprir; (ii) escolhas estratégicas, na qual se verificam as consistências entre aspectos externos, ligados ao uso do produto e ao mercado, e aspectos internos, ligados aos recursos produtivos da manufatura, em uma abordagem contingencial; e (iii) a adoção de uma ou mais das chamadas melhores práticas, tais como a produção enxuta ou a qualidade total.

Interpretando livremente Voss (1995), observa-se que a primeira linha de ação parece ter mais conexões externas, pois considera majoritariamente os requisitos de mercado para configurar a manufatura. A segunda linha parece ser mista, pois trata de escolhas que considerem o mercado, mas que também considerem decisões internas já tomadas, tais como a infra-estrutura física e gerencial e as competências e intangíveis da empresa. A terceira linha, por fim, parece ser mais internalizada, pois assume a premissa que, adotada uma das melhores práticas, chega-se ao resultado desejado, independentemente de outros fatores. Bastaria identificar qual a melhor prática a adotar.

Embora a formulação da estratégia não tenha sido o objeto principal de estudo, pode-se conjecturar que as estratégias estudadas neste e no capítulo 3 tenham sido formuladas mais com base nos dois primeiros enfoques citados, não se percebendo a tentativa de adoção automática de nenhuma das chamadas melhores práticas. Por depender mais de decisões maturadas em longos prazos, tais como a compra da infra-estrutura industrial, a manufatura mecânica do capítulo 5 talvez apresente um pouco mais de alinhamento com a segunda linha, as decisões contingenciais. Já a manufatura eletrônica parece apresentar um pouco mais de afinidade com a primeira linha, as decisões externamente conectadas.

Miller e Roth (1994) propuseram uma tipificação das estratégias de manufatura. Os autores partiram de tipificações anteriores, tais como as estratégias defensoras, enfocadoras e diferenciadoras, propostas por Miles e Snow (1978, apud MILLER; ROTH, 1994) e as estratégias dirigidas por custo, clientes e tecnologia, propostas por Stobaugh e Telesio (1983, apud MILLER; ROTH, 1994). Outra tipologia proposta por Miles e Snow (1978, apud SOHN et al, 2003) são os defensores, prospectadores, analisadores e reativos.

Apoiando-se em estudos empíricos, Miller e Roth (1994) propuseram uma nova tipologia: (i) os vigilantes (*caretakers*), que se preocupam em manter sua posição, baixar custos e competir principalmente por preço; (ii) os mercadistas (*marketeers*), que se

preocupam em oferecer um produto constante e conhecido e competir principalmente por qualidade de conformação, desempenho do produto e serviços; e (iii) os inovadores, que se preocupam em antecipar necessidades de mercado, competindo por inovação e diferenciação. Para chegar a esta classificação, os pesquisadores investigaram a importância absoluta dada por respondentes a onze dimensões de desempenho, com dados coletados em 1987 exclusivamente na América do Norte.

Os autores consideram que os vigilantes sucedam, com algumas modificações, os defensores e os dirigidos por custo e operem com produtos na fase final do ciclo de vida. Também consideram que os mercadistas sucedam os enfocadores e os dirigidos por clientes, operando com produtos maduros, assim como os inovadores sucedem os diferenciadores e os dirigidos por tecnologia, operando com produtos na fase inicial do ciclo de vida.

Frohlich e Dixon (2001) deram continuidade ao trabalho de Miller e Roth (1994), replicando os experimentos, desta vez com dados de 1994 e de 1998 coletados nas Américas do Norte e do Sul, na Europa e na Ásia do Pacífico e considerando nove das onze dimensões originais. Os autores concluíram que a classe dos mercadistas havia sido substituída pela classe dos projetistas (*designers*), que competiam segundo os mesmos critérios dos mercadistas, porém com capacidade de mudar rapidamente o produto.

Os autores identificaram classes adicionais nas regiões geográficas, com menores incidências (de 4 a 25%): (i) a capacidade múltipla (*idlers*), que possui folgas e flexibilidade que permitam responder rapidamente a uma demanda previsível, na América do Sul; (ii) os prestadores de serviços (*servers*), que se preocupam mais com qualidade, serviços e entregas, na Europa; e (iii) a especialização em massa (*mass customization*), que se preocupa em manter preços baixos e rápidas respostas a qualquer tipo de demanda, na Ásia do Pacífico.

Como dispõem-se de dois casos estudados, decidiu-se compará-los a estas classes.

Compararam-se dados extraídos das tabelas de 11 a 14 de Frohlich e Dixon (2001) com as importâncias apresentadas nos capítulos 3 e 5. Como a estrutura de avaliação dos autores é absoluta e as importâncias dos casos são relativas, foi necessário redistribuir os conceitos atuais segundo as nove dimensões de comparação e normalizar as escalas na faixa [1 – 5]. A dimensão de maior importância vale 5, dimensão de importância nula vale 1 e as demais dimensões assumem valores proporcionais à sua importância.

A tabela 45 apresenta as nove dimensões de avaliação e os desempenhos dos casos. Na última linha têm-se as distâncias euclidianas entre as coordenadas originais das classes de estratégias e as coordenadas resultantes dos dois estudos de caso. Vale salientar que escalas afetam a distância euclidiana, devendo-se considerar preferencialmente a ordenação.

Conclui-se que o padrão de estratégia da manufatura eletrônica do capítulo 3 está menos distante do padrão estratégico de capacidade múltipla, encontrado na América do Sul, e da estratégia inovadora da América do Norte. Já o padrão de estratégia da manufatura mecânica está menos distante da especialização em massa do Ásia do Pacífico e das estratégias vigilante e projetista da América do Sul.

Entende-se que se tenha chegado a uma tipificação aceitável, que além de ilustrar o tema, pode servir como validação das mensurações executadas nos capítulos 3 e 5.

A manufatura eletrônica do capítulo 3 possui características de capacidade múltipla, pois dá muita importância à flexibilidade no projeto e pouca importância a outros fatores, o que não deve ser entendido como descaso pelos fatores, mas como preocupação em não fixar demasiadamente recursos produtivos em uma ou poucas linhas de ação. Com isto, a empresa pode realocar recursos e atender requisitos emergentes de mercado. A manufatura também apresenta similaridades com os inovadores, principalmente pela importância dada ao serviço e pela pouca importância dada ao preço como arma de competição.

A manufatura mecânica deste capítulo possui similaridades com a especialização em massa, principalmente pela importância dada à flexibilidade em projeto. A manufatura dá mais de 20% de importância relativa a um único indicador, o tempo-padrão de produto. Os campos de força deste indicador revelam que a manufatura procura atender rapidamente, através de mudanças no projeto básico do produto e no processo de fabricação, a demandas específicas. Quanto à outra classificação, a manufatura apresenta praticamente a mesma distância às classes de estratégias vigilante e projetista. A proximidade aos vigilantes se justifica pela preocupação com a ocupação plena da fábrica, redução de custo e manutenção de preço baixo. A proximidade aos projetistas se dá pelos aspectos já salientados de flexibilidade em projeto de produto e processo, que torna a empresa capaz de competir por pedidos fora do mix-padrão. Chama a atenção a pouca importância dada ao serviço pós-venda e à diversidade de produtos, o que a afasta das classes de prestadores de serviço e inovadores.

5.3 Considerações finais ao capítulo

O objetivo deste capítulo foi aplicar e testar, em um caso-piloto, a metodologia proposta para medição e controle da execução de uma estratégia de manufatura. A metodologia foi

testada em uma manufatura de ferramentas mecânicas, de base tecnológica, que dispõe de um processo estruturado de planejamento estratégico de manufatura, mas não dispõe de um sistema integrado de medição e controle de desempenho da estratégia.

Tabela 45 - Análise comparada entre estratégias

	Classificação 1			Classificação 2			manufatura eletrônica	manufatura mecânica
	<i>idlers</i>	<i>servers</i>	<i>mass custom.</i>	<i>caretaker (SA)</i>	<i>designer (SA)</i>	<i>innovator (NA)</i>		
preço	2,00	3,56	3,75	4,50	4,12	2,77	1,77	4,15
flexib projeto	3,50	2,41	3,75	1,57	3,66	3,13	5,00	5,00
flexib. volume	2,00	2,05	3,25	2,64	3,89	2,81	1,48	3,37
qualidade conform.	2,50	2,76	3,34	4,71	4,25	4,71	1,85	3,23
qualidade desemp.	2,75	3,87	2,75	3,92	4,35	4,83	3,28	2,21
velocidade entrega	2,75	3,97	3,37	3,71	4,29	4,00	1,27	4,38
confiab. entrega	1,50	3,81	3,00	4,14	4,16	4,23	1,14	2,56
serviço pós-venda	1,50	3,77	3,12	3,21	4,25	4,61	4,79	1,14
divers. produtos	2,00	4,11	2,87	2,00	3,77	2,94	1,40	1,39
dist. euclidiana 1	4,10	5,85	4,89	6,85	6,65	6,02		
dist. euclidiana 2	3,72	5,28	3,06	5,01	5,06	5,67		
ordem 1	1	3	2	3	2	1		
ordem 2	2	3	1	1	2	3		

Fonte: Frohlich e Dixon (2001), mais elaboração do autor

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os elementos do caso. Na discussão buscou-se extrair ensinamentos que refinem e robusteçam a metodologia, abrindo-se ainda novas vias de exploração metodológica. Tenciona-se haver chegado a uma hipótese de trabalho que possa ser testada em projetos de pesquisa de maior alcance.

A seguir apresentam-se as considerações que encerram esta tese de doutoramento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste capítulo é tecer as considerações finais ao trabalho, resumindo-se a metodologia proposta e sugerindo-se alternativas para a continuidade das pesquisas.

6.1 Resumo da metodologia e hipótese de trabalho

Inicia-se o capítulo consolidando o método desenvolvido e acrescentando-se os ensinamentos agregados pelo caso.

O requisito inicial é que a organização-alvo possua um processo estratégico, contendo objetivos estratégicos claros e cursos de ação definidos para alcançar os objetivos de manufatura. O método que define objetivos e cursos de ação não é relevante para a proposta.

A seguir resume-se a metodologia proposta, já incorporando os ensinamentos obtidos com as aplicações práticas.

1º passo: Inicia-se por um grupo focado, formado por decisores com trajetória de sucesso na indústria, formação condizente e perfil racional, que aceitem trabalhar com decisões objetivas. Com os objetivos estratégicos, os decisores discutem sobre o cenário de competição até chegarem a uma estruturação arborescente da estratégia, em termos de construtos latentes, conceitos e variáveis manifestas, os indicadores. Mesmo podendo ser difícil haver a mútua exclusividade em situações complexas, deve-se evitar nesta discussão o sombreamento de conceitos.

2º passo: O grupo pondera a arborescência segundo um método de apoio à decisão multicriterial, atribuindo-se a cada indicador uma importância relativa. O método AHP, por exemplo, permite uma inconsistência de até 10% na estrutura de preferências, devida não à falta de racionalidade dos decisores, mas à perda de mútua exclusividade na situação. Como alternativa, o grupo pode calcular importâncias relativas para diversos cenários futuros. Antes de prosseguir, testa-se a confiabilidade dos conceitos intangíveis que compõem os objetivos e que originam os indicadores. Caso a confiabilidade da estrutura não seja aceitável, deve-se rediscutir os conceitos e eventualmente modificar indicadores.

3º passo: Os indicadores definitivos recebem metas e faixas de desempenho, medindo-se e categorizando-se cada situação segundo as faixas [*péssima* = 0; *ruim* = 25%; *média* = 50%; *boa* = 75%; *ótima* = 100%]. A meta menos a situação atual é a lacuna de desempenho do indicador. O produto entre a categoria de situação do indicador e a sua importância relativa é a contribuição do indicador. A soma das contribuições de todos os indicadores é o desempenho estratégico global, que varia de 0 a 100%.

4º passo: O decisor julga a capacidade dos cursos de ação em influenciar os indicadores. O total de pontos percentuais que um curso de ação agrega ao desempenho estratégico global é o mérito do curso. Caso a empresa decida contingenciar a execução dos cursos de ação, priorizam-se os mesmos através de um modelo de otimização combinatória que maximize o mérito global e cuja restrição seja o desencaixe.

5º passo: Na fase de pré-controle avalia-se o quanto das lacunas de desempenho os atuais cursos de ação preencherão. Havendo insuficiências neste preenchimento, tomam ações táticas, modificando os cursos de ação, ou estratégicas, retirando ou propondo novos cursos.

6º passo: Consolidada a estratégia, coloca-se a mesma em ação e, após um período, repete-se a medição de campo e recalcula-se o desempenho estratégico global, que deve se aproximar de 100%. À medida que o desempenho se movimenta, as ações de controle tomadas modificam as intensidades dos cursos em ação. Ao longo de muitos ciclos de medições será possível obter dados numéricos que permitam uma análise temporal. Espera-se que grandezas de pré-alimentação, erros e realimentação apresentem os comportamentos típicos de sistemas de controle em malha fechada, tais como ultrapassagens, aproximações assintóticas e oscilações.

A série histórica do desempenho estratégico de manufatura é a representação numérica de um processo evolutivo que interage com o ambiente e tem uma trajetória irreversível no tempo, pois resulta de decisões tomadas em pontos de bifurcação, os cursos de ação, cujas conseqüências são, quase sempre, irreversíveis.

Entende-se que se tenha chegado a uma hipótese de trabalho que pode ser testada em um projeto de pesquisa de mais longo alcance, que acompanhe o desempenho estratégico de uma manufatura ao longo do tempo, e não momentaneamente, como o atual objetivo.

6.2 Conclusões e continuidade das pesquisas

Uma tese de doutoramento responde a questões de pesquisa através de procedimentos científicos. Durante a execução dos procedimentos surgem novas questões de pesquisa, que instigam o pesquisador a prosseguir em seu trabalho. Como o processo científico não se esgota em si mesmo, abrem-se alternativas de continuidade, que devem ser exploradas pelo pesquisador em sua jornada permanente de construção de conhecimento.

O objetivo geral desta tese era propor e testar uma metodologia de medição e controle do desempenho de uma estratégia de manufatura. A medição deveria ser compreensiva e flexível em relação aos fatores de competição e aos objetivos da estratégia. Os objetivos específicos eram: (i) a proposição e teste de uma metodologia para a avaliação do desempenho competitivo em manufatura; (ii) a proposição e teste de uma modelagem de parâmetros internos de manufatura; (iii) o uso dos objetivos anteriores para a proposição e teste em um caso-piloto da metodologia de medição e controle do desempenho de uma estratégia de manufatura; e (iv) discussão e refinamento da metodologia, obtendo-se uma hipótese de trabalho.

Como estratégia geral de pesquisa adotaram-se aproximações parciais ao objetivo final. A cada proposição teórica parcial se conduziu um experimento, com o objetivo de verificar a validade da proposição e corrigir eventuais dificuldades. No capítulo 3 apresentou-se um estudo de caso conduzido em manufatura eletrônica, no qual foi testado o método para a estruturação e avaliação de fatores de competição. No capítulo 4 propôs-se e testou-se uma modelagem para a medição de parâmetros de manufatura presentes em estratégias, tais como o tempo de atravessamento e o inventário. O conteúdo dos capítulos fez parte dos ciclos de aprendizagem que conduziram ao método final, aplicado e discutido no capítulo 5. Entende-se que os objetivos geral e específicos tenham sido alcançados, possuindo-se agora uma hipótese de trabalho para futuras pesquisas: uma metodologia para medição e controle de desempenho estratégico em manufatura.

Elementos metodológicos mais específicos foram discutidos nos capítulos que contém a contribuição desta tese. Deseja-se entabular uma discussão final acerca dos achados desta tese em relação à perspectiva sistêmica aplicada à manufatura.

Recorde-se a observação de Bertalanffy (1977): a cibernética controla a operação de um sistema realimentando uma variável, por um mecanismo fixo, enquanto que os sistemas abertos se realimentam através de múltiplas variáveis e múltiplos modos de controle.

Entende-se que se chegou a uma estrutura que contemple o formato cibernético de realimentação, já que se chegou a uma variável agregada, o desempenho estratégico global. Realimentando-se esta variável unificada é possível realimentar o processo estratégico como um todo. Também entende-se que se chegou ao formato de sistema aberto, pois as múltiplas variáveis que compõem a realimentação dão origem a múltiplos e diversificados modos de controle, inclusive com influências mútuas, como nos cursos de ação que influenciam diversos indicadores ao mesmo tempo. Com isto manifesta-se a complexidade no ambiente de manufatura, pois a inexistência de exclusividade nos efeitos dos cursos de ação faz com surjam interações entre os fatores estratégicos que formam a competitividade.

Também se entende que se tenha chegado a uma clara distinção entre os conceitos de sistema de Bertalanffy (1977) e o conceito de *holon* de Checkland e Scholes (1999). Recorde-se a crítica aposta pelos autores à definição assumida por Bertalanffy: sistemas seriam as partes identificáveis do todo, ao passo que *holons* assumiriam a noção abstrata de todo. Quanto ao objeto desta tese, entende-se que se possa considerar as funções de medição, de informação, de controle estrito e de controle amplo como sub-sistemas, compostos de equipamentos físicos e de procedimentos, formando um sistema. O uso do sistema como apresentado é um *holon*. Havendo outro uso, há outro *holon*. Na discussão do caso foram conjecturadas outras formas de uso da informação, formando outros *holons*. Da integração com o processo de formulação estratégica resultaria um *holon* mais amplo.

É possível apresentar sugestões para a continuidade das pesquisas.

Quanto aos achados do capítulo 3, sugere-se um projeto de pesquisa para a avaliação de desempenho a toda uma indústria. Uma das premissas de pesquisa é que, quanto mais focada for uma indústria, maior é a chance de se chegar a uma estrutura flexível de medição de desempenho que a represente consistentemente. Ao menos duas variantes para a pesquisa são sugeridas: (i) estrutura completa para a indústria; e (ii) apenas a primeira camada, os construtos latentes, para a indústria, individualizando-se para cada empresa o restante da estrutura. No primeiro caso seria possível compararem-se os desempenhos globais de todas as empresas da indústria. No segundo caso, a comparação se limitaria aos construtos latentes, o

que pode ser uma vantagem, já que cada empresa individual poderia construir sua estratégia específica para os construtos padronizados. Sugere-se o uso de um método incremental de apoio à decisão como alternativa ao método AHP.

Quanto aos achados do capítulo 4, sugere-se uma pesquisa cujo objetivo seja chegar a um sistema de pilotagem de produção baseado em tecnologia de informação. Com as facilidades gráficas propostas seria possível manter o equilíbrio na manufatura acelerando ou retardando ordens e retirando ou acrescentando capacidade. Também se sugere a formalização das simplificações utilizadas e a proposição de uma álgebra de funis.

Quanto aos achados do capítulo 5, sugerem-se estudos de caso longitudinais. Após formular um sistema de medição e controle de desempenho de uma manufatura, acompanhar-se-ia a execução da estratégia e montar-se-iam séries históricas, em busca de relações e regularidades matemáticas que componham uma proposta de teoria. Também se sugere a automatização do método de apoio à decisão grupal apresentado no capítulo.

Quanto ao conjunto da tese, podem-se fazer mais sugestões de continuidade.

Um fator de competição que recebeu alguma atenção foi a ligação do projeto do produto com o resultado da estratégia. Entende-se que este aspecto possa ser mais explorado, desenvolvendo-se uma teoria para a medição do tempo até o lançamento de novos produtos.

As pesquisas limitaram-se à manufatura de base tecnológica, mas podem ser estendidas a indústrias de serviços, tais como: (i) transporte coletivo; (ii) saneamento; (iii) gestão de resíduos sólidos; (iv) serviços logísticos; e (v) serviços de manutenção. Neste último caso usar-se-ia a teoria sobre modelos de confiabilidade, apresentada em Sellitto (2005).

Outro projeto de pesquisa que pode ter viabilidade é a extensão da abordagem a arranjos inter-organizacionais, tais como cadeias de suprimento, redes de cooperação e aglomerados industriais. Entende-se que este tema seja relevante na organização produtiva atual, mas também entende-se que um projeto de pesquisa com tal objetivo demandaria estudos teóricos adicionais prévios, pois os estudos até agora conduzidos, provavelmente, não serão suficientes para captar todas as peculiaridades dos fenômenos de agrupamentos de empresas.

Finalmente sugere-se uma intervenção junto aos organizadores de prêmios reconhecidos no ambiente de negócios nacional, tais como o PNQ e o prêmio ANTP, para a adoção de uma parte dos achados desta tese, a que diz respeito à flexibilização da estrutura do prêmio ou, ao menos, da ponderação dos construtos latentes e conceitos das premissas estratégicas. Entende-se que, devido à ampla aceitação destes modelos no mundo empresarial nacional, esta possa ser uma contribuição ao estado-da-arte industrial brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. Sistema e auto-organização, In: Cirne-Lima, C.; Rohden, L (org.). **Dialética e auto-organização**. S. Leopoldo: Editora da Unisinos, 2003. (Coleção Idéias).

ANOHN, P. Cibernética, neurofisiologia e psicologia. In: Anohin, P.; Bertalanffy, L. (org.). **Teoria dos sistemas**. R. Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1976. (série Ciências Sociais).

ANSOFF, H. **Estratégia empresarial**. S. Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

ANSOFF, H. **A nova estratégia empresarial**. S. Paulo: Atlas, 1991.

ARANTES, N. **Sistemas de gestão empresarial**: conceitos permanentes na administração de empresas válidas. S. Paulo: Atlas, 1998.

ARGYRIS, C. **Knowledge for actions**: a guide for overcoming barriers to organizational changes. S. Francisco: Jossey-Bass publishers, 1993.

BARROS, A.; LEHFELD, N. **Fundamentos de metodologia científica**. S. Paulo: Makron Books do Brasil, 2000.

BEINHOCKER, E. Robust adaptative strategies. **Sloan Management Review**, v. 40, n. 3, p. 95-106, 1999.

BERTALANFFY, L. Teoria geral dos sistemas: aplicação à psicologia. In: Anohin, P.; Bertalanffy, L. (org.). **Teoria dos sistemas**. R. Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1976. (série Ciências Sociais).

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**, Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTRAND, J.; WORTMANN, J.; WIJNGAARD, J. **Production control**: a structural and design oriented approach. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990.

BETHLEM, A. **Estratégia empresarial**. S. Paulo: Atlas, 1998.

BEUREN, I.; GIBBON, A. Considerações acerca do sistema de informação gerencial como suporte ao controle de gestão: uma abordagem da gestão do conhecimento. **Anais do XXI ENEGEP**, Salvador. 2001.

BEUREN, I. O papel da controladoria no processo de gestão, In: Schmidt, P. (org.) **Controladoria**: agregando valor para a empresa. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BITITCI, U. Modelling of performance measurement systems in manufacturing enterprises, **International Journal of Production Economics**, 42, pg. 137-147, 1995.

BITITCI, U.; SUWIGNJO, P.; CARRIE, A. Strategy management through quantitative modelling of performance measurement systems. **International Journal of Production Economics**, 69, pg. 15-22, 2001.

BITITCI, U.; NUDURUPATI, S.; TURNER, T.; CREIGHTON, S. Web enable performance measurements: management implications. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 11, p. 1273-1287, 2002.

BNQP: Baldrige National Quality Program. **Criteria for performance excellence**. Disponível em: http://www.quality.nist.gov/Business_Criteria.htm. Acesso em 14/11/2003.

BOFFEY, T. **Graph theory in operations research**. Hong Kong: MacMillan Press, 1984.

BOGAERT, I.; MARTENS, R.; CAUWENBERGH, A. Strategy as a situational puzzle: the fit of components. In: Hamel, G; Heene, A. **Competence-based competition**. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1995.

BONNEY, M. Control of manufacturing systems. **Produto e Produção**, P. Alegre: v. 4, n. 1, p. 1-16, 2000.

BORENSTEIN, D. Sistemas integrados de gestão, In: Schmidt, P. (org.) **Controladoria: agregando valor para a empresa**, Porto Alegre: Bookman, 2002.

BOURNE, M.; MILLS, J.; WILCOX, M.; NEELY, A.; PLATTS, K. Designing, implementing and updating performance measurements systems. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 20, n. 7, p.754-771, 2000.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Routledge, 1995.

BUSSAB, W. **Análise de variância e de regressão**. S. Paulo: Atual, 1988.

CARVALHO, M.; LAURINDO, F. **Estratégias para competitividade**. S. Paulo: Futura, 2003.

CERTO, S.; PETER, J. **Administração Estratégica**. S. Paulo: Makron Books, 1993.

CERVO, A.; BERVIAN, P. **Metodologia científica**. S. Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHECKLAND, P.; SCHOLLES, J. **Soft systems methodology in action**. Chichester, West Sussex: John Wiley and Sons, 1999.

CHIAVENATO, I. **Teoria geral da administração**, vol. 2. S. Paulo: Makron Books, 1993.

CIRNE-LIMA, C. Causalidade e auto-organização, In: Cirne-Lima, C.; Rohden, L. (org.) **Dialética e auto-organização**. S. Leopoldo: Editora da Unisinos, 2003 (Coleção Idéias).

CONTADOR, J. **Modelo para aumentar a competitividade industrial**. S. Paulo: Edgard Blücher, 1996.

COOK, W. **Combinatorial optimization**. New York: John Wiley and Sons, 1998.

COX, J.; SPENCER, M. **The constraints management handbook**. Boca Raton: St. Lucie Press, 1998.

DAFT, R. **Teoria e projetos de organização**. R. Janeiro: LTC, 1999.

DAVENPORT, T. Putting the enterprise in the enterprise system. **Harvard Business Review**, Boston: v. 76, n. 4, pg. 121-131, july-august 1998.

DAVIS, M.; AQUILANO, N.; CHASE, R. **Fundamentos da administração da produção**. P. Alegre: Bookman, 2001.

DEMO, P. **Complexidade e aprendizagem**: a dinâmica não-linear do conhecimento. S. Paulo: Atlas, 2002.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G.; NORONHA, S. **Apoio à decisão**. Florianópolis: Insular, 2001.

EVANS, J. An exploratory study of performance measurement systems and relationships with performance results. **Journal of Operations Management**, 22, p.219-232, 2004.

FERRAZ, J.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. **Made in Brazil**: desafios competitivos para a indústria. R. Janeiro: Campus, 1996.

FIGUEIREDO, S.; CAGGIANO, F. **Controladoria**: teoria e prática. S. Paulo: Atlas. 1997.

FPNQ: FUNDAÇÃO DO PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE. **Critérios de Excelência 2004**. Disponível em: <<http://www.fpnq.org.br/>>. Acesso em 01/05/2004.

FORRESTER, J. **Industrial dynamics**. Cambridge, MA: MIT Press, 1961.

FRENCH, S. **Decision Theory**: an introduction to the mathematics of rationality. Chichester, West Sussex., UK: Ellis Horwood, 1986.

FROHLICH, M.; DIXON, R. A taxonomy of manufacturing strategies revisited. **Journal of Operations Management**, vol. 19, nº. 5, p. 541-558, 2001.

GALBRAITH, J. **Organizational design**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977.

GASPARETTO, V. **Proposta de uma sistemática para avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos**. 2003. 248 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis.

GOLDBARG, M.; LUNA, H. **Otimização combinatória e programação linear**: modelos e algoritmos. R. Janeiro: Campus, 2000.

GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, A. **Tomada de decisão gerencial**: enfoque multicritério. S. Paulo: Atlas, 2001.

GOMES, L.; ARAYA, M.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos**. S. Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, C.; YASIM, M.; LISBOA, J. An examination of manufacturing organizations' performance evaluation: analysis, implications and a framework for future research. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 24, n. 5, pg. 488-513, 2004.

GOMES, J. **Controle de gestão**: uma abordagem contextual e organizacional. S. Paulo: Atlas, 1997.

HAHN, G.; SHAPIRO, S. **Statistical models in engineering**. New York: John Wiley and Sons, 1967.

HAIR, J.; TATHAM, R.; ANDERSON, R.; BLACK, W. **Multivariate Data Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

HANSEN, P. **Um modelo meso-analítico de avaliação de desempenho competitivo de cadeias produtivas**. 2004. 353 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

HEMHAUSER, G; WOLSEY, L. **Integer and combinatorial optimization**. New York: John Wiley and Sons, 1999.

HOGARTH, R. **Judgement and choice**, Essex, UK: John Wiley and Sons, 1988.

HOPEMAN, R. **Análise de sistemas e gerência de operações**. Petrópolis: Vozes, 1977.

HRONEC, S. **Vital signs: using quality, time, and cost performance measurements to chart your company's future**. USA: Arthur Andersen Co., 1993.

JACKSON, M. **Systemic methods in management sciences**. New York: Plenum Press, 1993.

KAPLAN, R.; NORTON, D. **A estratégia em ação: o Balanced Scorecard**. R. Janeiro: Campus, 1997.

KASUL, R.; MOTWANI, J. Performance measurements in world-class operations: a strategic model. **Benchmarking for Quality Management and Technology**, v. 2, n. 2, pp. 20-36, 1995.

KATZ, D.; KAHN, R. **Psicologia social das organizações**. S. Paulo: Atlas, 1970.

KEENEY, R.; RAIFFA, H. **Decisions with multiples objectives: preferences and value trade-offs**. New York: John Wiley and Sons, 1976.

KENNERLY, M.; NEELY, A. Measuring performance in a changing business environment. **International Journal of Operations and Production Management**, v.23, n. 2, p. 213-229, 2003.

KLEINROCK, L. **Queueing Systems**. New York: John Wiley & Sons, 1975.

KLIR, G. **An approach to general systems theory**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1969.

KLIR, G. **Facets of systems sciences**. New York: Plenum Press, 1991.

KÖCHE, J. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e prática da pesquisa**. Petrópolis: Vozes, 2003.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Metodologia científica**. S. Paulo: Ed. Atlas, 1991.

LAUDON, K.; LAUDON, J. **Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital**. S. Paulo: Prentice-Hall, 2004.

LAW, A.; KELTON, W. **Simulation Modeling and Analysis**, New York: McGraw-Hill, 1991.

LEBAS, M. Performance measurement and performance management. **International Journal of Production Economics**, 41, p. 23-35, 1995.

LHOTE, F.; CHAZELET, P.; DULMET, M. The extension of principles of cybernetics towards engineering and manufacturing. **Annual Reviews in Control**, 23, pg. 139-148, 1999.

LICATA, I. Inteligência Artificial: apresentação dell'area – primeira parte. In: **Il portale italiano sull'information**. Disponível em: <http://www.programmazione.it/index.php?entity=earticleeidArticle=711eidArea=22ePHPSESSID=517206c6646f46074840659d1c5c12a4>. acesso em 10/07/2004.

LOHMAN, C.; FORTUIN, L.; WOUTERS, M. Designing a performance measurement system: a case study. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 2, pg. 267-286, 2004.

LOWSON, R. Operations strategy: genealogy, classification and anatomy. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 10, p. 1112-1129, 2002.

MACIEL, J. **Elementos de teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1974.

MARGUTTI PINTO, P. Dialética, lógica formal e abordagem sistêmica, In: Cirne-Lima, C e Rohden, L (org.). **Dialética e auto-organização**. S. Leopoldo: Editora da Unisinos, 2003. (Coleção Idéias).

MARTINS, R. **Sistemas de medição de desempenho**: um modelo para estruturação do uso. 1999. 248 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica, USP, S. Paulo.

MAXIMIANO, A. **Teoria geral da Administração**. S. Paulo: Atlas, 1997.

MCCULLOUGH, B.; WILSON, B. On the accuracy of statistical procedures in Microsoft Excel 2000 and Excel XP2002, **Computational Statistics and Data Analysis**. 40 p. 713 – 721, 2002.

MELNICK, S.; STEWARD, D.; SWINK, M. Metrics and performance measurements in operations management: dealing with the metrics maze. **Journal of Operations Management**, 22, p. 219-217, 2004.

MILLER, J.; ROTH, A. A taxonomy of manufacturing strategies. **Management Science**, v. 40, n. 3, p. 285-304, 1994.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Safári de estratégia**: um roteiro pela selva do planejamento estratégico. P. Alegre: Bookman, 2000.

MIRANDA, L.; SILVA, J. Medição de desempenho. In: SCHMIDT, P (org.). **Controladoria**: agregando valor para a empresa. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MOREIRA, D. **Dimensões do desempenho em manufatura e serviços**, S. Paulo: Pioneira, 1996.

- MOREIRA, D. **Administração da produção e operações**. S. Paulo: Pioneira, 1999.
- MORGAN, G. **Imagens da Organização**. S. Paulo: Atlas, 1996.
- MOTTA, F.; VASCONCELLOS, I. **Teoria geral da Administração**. S. Paulo: Thompson, 2002.
- MÜLLER, C. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistema de avaliação de desempenho e gerenciamento de processo**. 2003. 292 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 15, n. 4, pg. 80-116, 1995.
- O'BRIEN, J. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. S. Paulo: Saraiva, 2002.
- OLIVEIRA, D. **Estratégia empresarial: uma abordagem empreendedora**, S. Paulo: Atlas, 1991.
- PAIVA, E.; CARVALHO, L; FENSTENSEIFER, J. **Estratégia de produção e de operações**. P. Alegre: Bookman, 2004.
- PAPOULIS, A. **Probability, random variables and stochastic processes**. Singapore: McGraw-Hill International, 1984.
- PARTOVI, F.; WHITERS, B.; BRADFORD, J. How Tompkins rubber company used Analytic Hierarchy Process to enhance ISO-9000 related decision making, **Production and Inventory Management Journal**. Alexandria, USA, v. 43, n°s 1 e 2, first/second quarters, 2002.
- PEREIRA, J. **Análise de dados qualitativos**. S. Paulo: Edusp, 1999.
- PEREIRA, M.; SANTOS, S. **Modelo de gestão: uma análise conceitual**. S. Paulo: Pioneira Thomsom Learning, 2001.
- PEREIRA, E.; NAGANO, M. Gestão estratégica de custos, In: Schmidt, P. (org.) **Controladoria: agregando valor para a empresa**, P. Alegre: Bookman, 2002.
- PERROW, C. **Análise organizacional: um enfoque sociológico**. S. Paulo: Atlas, 1972.
- PETERAF, M. The cornerstones of competitive advantage: a resource-based view. **Strategic Management Journal**, 14, p.179-191, 1993.
- PIDD, M. **Computer simulation in management science**, Chichester, UK: Wiley, 1998.
- PLOSSL, G. **Production and inventory control**, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1985.
- PORTER, M. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. R. Janeiro: Campus, 1998.

- RAIFFA, H. **Teoria da decisão**: aulas introdutórias sobre escolhas em condições de incerteza. Petrópolis: Vozes, 1977.
- RAPOPORT, A. Aspectos matemáticos da análise geral dos sistemas. In: Anohin, P.; Bertalanffy, L. (org.) **Teoria dos sistemas**. R. Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1976. (série Ciências Sociais).
- REA, L; PARKER, R. **Metodologia de pesquisa**: do planejamento à execução. S. Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- RIBEIRO, J.; NEWMANN, C. Planejamento e condução de grupos focados. In: RIBEIRO, J. (org.) **Grupos focados**: teoria e aplicações. P. Alegre: FEENG-UFRGS-PPGEP, 2003.
- RIGGS, J. **Administração da produção**: planejamento, análise e controle, 1º volume. S. Paulo: Atlas, 1981.
- RIGGS, J. **Administração da produção**: planejamento, análise e controle, 2º volume. S. Paulo: Atlas, 1981a.
- ROESCH, S. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração**: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso. S. Paulo: Atlas, 1999.
- RUSSELL, B. **A perspectiva científica**. S. Paulo: Nacional, 1977.
- SAATY, T. **Método de análise hierárquica**, S. Paulo: Makron Books do Brasil, 1991.
- SALOMON, V. Auxílio à decisão para a adoção de políticas de compras, **Produto e Produção**, P. Alegre, v. 6, n. 1, p. 01-08, 2002.
- SALOMON, V.; MONTEVECCHI, J. Método de análise em redes: sucessor do método de análise hierárquica? **Produto e Produção**, P. Alegre, v. 2, n. 3, p. 107-117, 1998.
- SELLITTO, M. Inteligência artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. **Gestão e Produção**, S. Carlos, v. 9, n. 3, p. 363-376, 2002.
- SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. Assessing the degree of promptness of a service industry to adopt lean thinking, **READ**, Special issue, Porto Alegre: 36 vol. 9 nº 6, pg. 105-130. 2003.
- SELLITTO, M.; RIBEIRO, J. Construção de indicadores para avaliação de conceitos intangíveis em sistemas produtivos. **Gestão e Produção**, S. Carlos, v.11, n. 1, p. 001-013, 2004.
- SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G.; OLIVEIRA, G. Graus de importância de critérios de desempenho de uma estratégia enxuta aplicada em uma indústria de serviços. **Anais do XXIV ENEGEP**, Florianópolis. 2004.
- SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G.; OLIVEIRA, G. Avaliação da capacidade de medição de objetivos estratégicos do sistema de indicadores de uma empresa com o uso do método AHP, **Anais do XXIV ENEGEP**. Florianópolis. 2004a.
- SELLITTO, M. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção**, S. Paulo, v. 15, n. 1, p. 044-059, 2005.

- SENGE, P. **A Quinta Disciplina**. S. Paulo: Best Seller, 1990.
- SHANK, J.; GOVINDARAJAN, V. **Gestão estratégica de custos**. R. Janeiro: Campus, 1995.
- SHINGO PRIZE. **Application Guidelines 2004-2005**. disponível em <http://www.shingoprize.org/BusPrize/BusinessGuidelines.pdf>. Acesso em maio de 2004.
- SIM, K.; KOH, H. Balanced Scorecard: a rising trend in strategic performance measurement, **Measuring Business Excellence**, v. 5, n. 2, p. 18-27, 2001.
- SKINNER, W. Manufacturing strategy on the “S” curve. **Production and operations management**, v. 5, n. 1, p. 3-13, 1996.
- SKINNER, W. Manufacturing – missing link in corporate strategy, **Harvard Business Review**, Boston, v. 47, n. 3, p. 136-145, may-june, 1969.
- SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura**: atingindo competitividade nas operações industriais. S. Paulo: Atlas, 1993.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. S. Paulo: Atlas, 1997.
- SOHN, M.; YOU, T.; LEE, S.; LEE, H. Corporate strategies, environmental forces and performance measures: a weighting decision support system using the k-nearest neighbor technique. **Expert Systems with applications**, v. 25, n. 3, p. 279-292, 2003.
- SOUZA FILHO, D. **Iniciação à história da filosofia**. R. Janeiro: Jorge Zahar, 2000.
- SPECKBACHER, G.; BISCHOF, J.; PFEIFFER, T. A descriptive analysis on the implementation of Balanced Scorecards in german-speaking countries. **Management Accounting Research**, v.14, n. 4, p. 361- 887, 2003.
- SPIEGEL, M. **Probabilidade e estatística**, S. Paulo: McGraw-Hill, 1978.
- STERMAN, J. **Business dynamics**: system thinking and modeling for a complex world. USA: McGraw-Hill, 2000.
- STEKELENBORG, R.; KORNELIUS, L.: A diversified approach towards purchasing and supply. In: Walter, C.; Kliemann, F.; Oliveira, J. (org.). **Productions management methods, Proceedings of the IFIP WG5.7 Working conference on evaluation of Productions Management Methods**, Gramado, Brazil: Elsevier Science, 1994.
- SUWIGNJO, P; BITITCI, U.; CARRIE, A. Quantitative models for performance measurements system. **International Journal of Production Economics** 64, pg. 231-241, 2000.
- TEIXEIRA, M.; MENEZES, F.; SELBITTO, M. Controle da manufatura: medição do tempo de atravessamento e inventário em arranjos físicos por processo. **Anais do XXIV ENEGEP**, Florianópolis: 2004.

THOMPSON, J. Modelos de organização e sistemas administrativos. In: Anohin, P.; Bertalanffy, L. (org.) **Teoria dos sistemas**. R. Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1976. (série Ciências Sociais).

TUBINO, D. **Sistemas de produção**: a produtividade no chão de fábrica, P. Alegre: Bookman, 1999.

VASCONCELLOS FILHO, P. **Planejamento estratégico**: formulação, implementação e controle. B. Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1982.

VIEIRA, S. **Como escrever uma tese**. S. Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

VOLLMANN, T.; BERRY, W.; WHYBARK, C. **Manufacturing planning and control systems**, USA: McGraw-Hill 1997.

VOSS, C. Alternative paradigms for manufacturing strategy. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 15, n. 4, p. 5 – 16, 1995.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195 – 219, 2002.

WHITE, G. A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturing. **International Journal of Operations and Production Management**, v 16, n. 3, pg. 42-61, 1996.

WHEELWRIGTH, S. Manufacturing strategy: defining the missing link. **Strategic Management Journal**, v. 5, n. 1, p. 77-91, jan-mar 1984.

WIENDAHL, H. **Betriebs-organisation für ingenieure**. Deutschland: Carl Hansen Verlag, 1989.

WIENDAHL, H. **Load-oriented manufacturing control**. Berlin: Springer-Verlag, 1995.

WIENDAHL, H.; PETERMANN, D.: Production planning and control on the basis of control theory, In Walter, C.; Kliemann, F.; Oliveira, J. (org). **Productions management methods, Proceedings of the IFIP WG5.7 Working conference on evaluation of Productions Management Methods**, Gramado, Brazil: Elsevier Science, 1994.

WIENDAHL, H.; BREITHAUPT, J-W. Modelling and controlling the dynamics of productions systems, **Production Planning and Control**, v. 10, n. 4, p. 389-401, 1999.

WIENDAHL, H.; BREITHAUPT, J-W. Automatic production control applying control theory, **International Journal of Production Economics**, 63, p. 33-46, 2001.

YIN, R. **Estudo de caso**: planejamento e método. P. Alegre: Bookman, 2001.