LEILA KEIKO CANEGUSUCO JANSEN

INTEGRAÇÃO DO PENSAMENTO SISTÊMICO EM PROJETOS SEIS SIGMA

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia

São Paulo

2009

LEILA KEIKO CANEGUSUCO JANSEN

INTEGRAÇÃO DO PENSAMENTO SISTÊMICO EM PROJETOS SEIS SIGMA

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Roberto Gilioli Rotondaro

São Paulo
2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Roberto Gilioli Rotondaro pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Aos membros da banca de avaliação pela disposição em avaliar e contribuir para a melhoria do trabalho.

À CAPES pela bolsa de doutorado concedida que possibilitou a dedicação a este trabalho.

Aos diretores, gerentes, coordenadores e equipes Seis Sigma das organizações que dedicaram tempo e energia para que o modelo proposto fosse aplicado.

Aos colegas e amigos pós-graduandos que conheci, troquei idéias e alegremente convivi durante esse período.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Produção pelos exemplos, ensinamentos e suporte na realização do doutorado.

À equipe da CHEM4U que compreendeu as razões das muitas horas de ausência na empresa para que este trabalho fosse finalizado.

À Sonia Maria Oshiro e Ulisses pelo auxílio na revisão do texto e à Elizabeth Scarpelli na elaboração do Abstract.

Aos meus pais e familiares que em toda a minha vida pessoal, profissional e acadêmica sempre estiveram ao meu lado com palavras de incentivo.

Agradecimento especial ao Ulisses e Natália pelo enorme apoio, carinho e paciência ao longo de toda essa jornada.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver e propor um modelo para integrar o Pensamento Sistêmico a partir da Dinâmica de Sistemas Qualitativa nas etapas Definir e Medir do DMAIC em projetos Seis Sigma que apresentem complexidade dinâmica. Esse modelo foi denominado DUMAIC, pois propõe a introdução da fase *Understand* – Entender, nas etapas do DMAIC. Para o alcance desse objetivo, a metodologia de pesquisa escolhida foi a Pesquisa Ação. A aplicação do modelo deu-se em uma empresa de grande porte, uma empresa de médio porte e em um hospital. O trabalho desenvolveu-se baseado em entrevistas e reuniões com os participantes das equipes Seis Sigma para a explicitação dos modelos mentais a respeito dos problemas e posterior construção em grupo dos modelos dinâmicos qualitativos dos projetos. O resultado mais significativo obtido foi comum a todos os projetos: a descoberta de modo compartilhado pelos integrantes das equipes, ao longo da construção dos modelos qualitativos, de relacionamentos não óbvios entre variáveis causais, responsáveis pela dinâmica nos sistemas. Desse resultado, outros foram gerados, entre eles: a identificação de variáveis comuns a dois projetos Seis Sigma que seriam tratadas separadamente de modo não sistêmico; a descoberta de que as fronteiras entre departamentos dificultavam a análise de um problema, onde causa e efeito estavam distantes no tempo e espaço; a percepção de que o arquétipo *Shifting the Burden* ou Transferência de Responsabilidade dita muitas vezes o comportamento das equipes e que, quando descoberto, é possível sair em busca da solução fundamental.

Palavras-chave: Pensamento Sistêmico. Dinâmica de Sistemas Qualitativa. Melhoria Contínua. Seis Sigma.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to develop and propose a model to integrate Systems Thinking through Qualitative System Dynamics, in the Define and Measure phases of the DMAIC process, in Six Sigma projects, which present dynamic complexity. Such model has been called DUMAIC as it proposes the introduction of the Understand phase in the DMAIC process. In order to reach this objective, the chosen research methodology was Action Research. The model was applied to a large-size company, a medium-size company and a hospital. The work developed was based on interviews and meetings with Six Sigma team members for elicitation of mental models on the problems and later construction, in groups, of the qualitative dynamic models of the projects. The most significant result obtained was common to all the projects: the finding, in a shared way by the members of the teams, while building the qualitative models, of non-obvious relationships between causal variables responsible for the dynamics in the systems. From this result others were generated, among them: identification of variables common to two Six Sigma projects which would be addressed separately in a non-systemic way; the finding that the borderlines between departments would make it difficult to analyze a problem, where cause and effect are distant in time and space; the perception that the "Shifting the Burden" archetype very often commands the behaviors of the teams, and that when it is found, it is possible to go in search of the fundamental solution.

Keywords: Systems Thinking. Qualitative System Dynamics. Continuous Improvement. Six Sigma.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do trabalho 17
Figura 2 - Mudanças de Paradigma 21
Figura 3 - O aprendizado como um processo de realimentação 34
Figura 4 - O aprendizado de malha simples 35
Figura 5 - A malha dupla do aprendizado 36
Figura 6 - Exemplo de relacionamento causal Positivo e Negativo 51
Figura 7 - Resolução de problema segundo a visão orientada por eventos 52
Figura 8 - Resolução de problema segundo a visão por Realimentações – Feedbacks 53
Figura 9 - Resolução de problema segundo a visão por Realimentações - Feedbacks, incluindo efeitos colaterais e ações dos outros 53
Figura 10 - Exemplo de malha de realimentação positiva 54
Figura 11 - Exemplo de malha de realimentação negativa 55
Figura 12 - Relações de causa e efeito instantâneas e com atraso 55
Figura 13 - Modos básicos de comportamento em Dinâmica de Sistemas 58-59
Figura 14 - Estrutura de um arquétipo de duas malhas totalmente genérico e o arquétipo solução 61
Figura 15 - Estrutura do arquétipo “Transferência de Responsabilidade” 62
Figura 16 - Representação de atraso em Diagrama de Enlace Causal 64
Figura 17 - O modelo de processo de negócio 82
Figura 18 - Variáveis independentes (X) e dependentes (Y) 83
Figura 19 - Diagrama de blocos e equações do sistema em espaço de estados 84
Figura 20 - Seis Sigma é um controlador de um sistema de controle de malha fechada 84
Figura 21 - Objetivo do Seis Sigma é de compreender 6σ (seis desvios padrão) entre a média μ e os limites superior e inferior de especificação 86
Figura 22 - No longo prazo um desempenho 6σ produz 3,4ppm de itens produzidos ou serviços prestados fora do especificado 87
Figura 23 - Ciclo PDCA de Shewhart-Deming 90
Figura 24 - Modelo SEA – *Select- Experiment- Adapt* para sistemas não lineares 91

Figura 25 - Modelo SEL – *Select- Experiment- Learn* para sistemas dinâmicos 92
Figura 26 - Diagrama de Causa e Efeito 98
Figura 27 - Fluxo do modelo DUMAIC 103
Figura 28 - Representação de relacionamento causal entre duas variáveis 107
Figura 29 - Desenvolvimento dos projetos com Pesquisa Ação 114
Figura 30 - Modelo de tese com Pesquisa Ação 115
Figura 31 - Ciclos maiores da Pesquisa Ação do projeto Cliente Retira 122
Figura 32 - Evolução das retiradas pelos clientes da Empresa A de jul/2005 a fev/2006 126
Figura 33 - Evolução das retiradas pelos clientes da Empresa A de mar/2004 a mar/2006 126
Figura 34 - Diagrama de Enlace Causal inicial mapeando o problema da retirada de produtos pelos clientes 127
Figura 35 - Diagrama de Enlace Causal que apresenta o relacionamento entre as vendas urgentes e a retirada pelos clientes 128
Figura 36 - Diagrama de Enlace Causal final do projeto Cliente Retira 129
Figura 37 - Ciclos maiores da Pesquisa Ação do projeto Lavagem de Reatores 134
Figura 38 - Modo de Referência do projeto Lavagem de Reatores 137
Figura 39 - Diagrama de Enlace Causal inicial do projeto Lavagem de Reatores 138
Figura 40 - Ciclos maiores da Pesquisa Ação do projeto Purificação de Água 142
Figura 41 - Modo de Referência do projeto Purificação de Água 145
Figura 42 – Diagrama de Enlace Causal inicial do projeto Purificação de Água 145
Figura 43 – Diagrama de Enlace Causal final do projeto Purificação de Água 146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Abordagem *hard* versus *soft* 37

Tabela 2 - Equivalência dos estágios de construção de modelos sugeridos por Sterman e Randers 65

Tabela 3 – DMAIC 93

Tabela 4 - Ferramentas utilizadas nas etapas do DMAIC 95-96

Tabela 5 - Passos da construção do modelo em equipe e responsáveis pelas atividades 109

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**
1.1 CONTEXTO 13
1.2 OBJETIVO DA PESQUISA 15
1.3 JUSTIFICATIVA 16
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA 16
1.5 ESTRUTURA DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO 17
2 REVISÃO DA LITERATURA **19**
PARTE I: PENSAMENTO SISTÊMICO E DINÂMICA DE SISTEMAS QUALITATIVA **19**
2.1 CONHECIMENTO CIENTÍFICO 19
2.2 MUDANÇA DE PARADIGMA 20
2.3 PARADIGMA DA ABORDAGEM SISTÊMICA 23
2.4 SISTEMAS 27
2.4.1 Descrição dos Sistemas **28**
2.4.1.1 Descrição Externa 29
2.4.1.2 Descrição Interna 29
2.5 PENSAMENTO SISTÊMICO 31
2.5.1 Desenvolvimento do Pensamento Sistêmico **34**
2.6 PROBLEMA 36
2.7 MODELO 37
2.8 MÉTODOS COM FOCO NO PENSAMENTO SISTÊMICO 40
2.9 DINÂMICA DE SISTEMAS 44
2.9.1 Propósito da Dinâmica de Sistemas **45**
2.9.2 Conceitos **46**
2.9.2.1 Complexidade Dinâmica 46
2.9.2.2 Modelos Mentais 48
2.9.2.3 Relacionamentos Causais 51
2.9.2.4 Realimentações (*Feedbacks*) 52
2.9.2.5 Atrasos (*Delays*) 55
2.9.2.6 Estrutura 57
2.9.2.7 Arquétipos 59

2.9.2.8 Diagrama de Enlace Causal 62
2.10 MODELAGEM DE SISTEMAS DINÂMICOS 64
2.10.1 Modelagem em Dinâmica de Sistemas Qualitativa 68
2.10.2 Construção de Modelo em Equipe 70
2.10.3 Papel do Facilitador 73
PARTE II: SEIS SIGMA 74
2.11 VISÃO GERAL 74
2.11.1 O que é Seis Sigma 77
2.11.2 Origem do Seis Sigma 78
2.12 GANHOS COM A APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA 79
2.13 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PELO SEIS SIGMA 81
2.14 MÉTRICA DO SEIS SIGMA 85
2.15 EQUIPE SEIS SIGMA 87
2.16 MODELOS DE MELHORIA 90
2.17 MODELO DMAIC 93
2.17.1 Etapa Definir 93
2.17.2 Etapa Medir 94
2.17.3 Etapa Analisar 94
2.17.4 Etapa Melhorar 94
2.17.5 Etapa Controlar 94
2.18 PRINCIPAIS FERRAMENTAS UTILIZADAS NO DMAIC 95
2.18.1 Análise Crítica do Diagrama de Causa e Efeito 97
3 MODELO DUMAIC 100
3.1 FLUXOGRAMA DO DUMAIC 102
3.2 ARQUÉTIPO “TRANSFERÊNCIA DE RESPONSABILIDADE” OU *SHIFTING THE BURDEN* 102
3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO EM EQUIPE 104
3.4 BENEFÍCIOS DO DUMAIC 109
4 METODOLOGIA DA PESQUISA 111
4.1 PESQUISA AÇÃO 111
4.2 JUSTIFICATIVA DO USO DA PESQUISA AÇÃO 112
4.3 CICLOS DA PESQUISA AÇÃO 114
4.4 INSERÇÃO DOS CICLOS DA PESQUISA AÇÃO NO TRABALHO DA TESE 115
4.5 LOCAIS DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA 116

4.5.1 Empresa A **116**
4.5.1.1 Justificativa de Realização da Pesquisa na Empresa A 117
4.5.2 Empresa B **117**
4.5.2.1 Justificativa de Realização da Pesquisa na Empresa B 118
4.5.3 Hospital C **118**
4.5.3.1 Justificativa de Realização da Pesquisa no Hospital C 119
4.6 PESQUISA AÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO DUMAIC 119
4.6.1 Projeto Cliente Retira **120**
4.6.1.1 Metodologia de aplicação do DUMAIC no projeto Cliente Retira 121
4.6.1.2 Resultado da Construção do Modelo em Equipe no projeto Ciente Retira 125
4.6.1.3 Discussão sobre os resultados do DUMAIC no projeto Cliente Retira 130
4.6.2 Projeto Lavagem de Reatores **132**
4.6.2.1 Metodologia de aplicação do DUMAIC no projeto Lavagem de Reatores 133
4.6.2.2 Resultado da Construção do Modelo em Equipe no projeto Lavagem de Reatores 137
4.6.2.3 Discussão sobre os resultados do DUMAIC no projeto Lavagem de Reatores 139
4.6.3 Projeto Purificação de Água **140**
4.6.3.1 Metodologia de aplicação do DUMAIC no projeto Purificação de Água 141
4.6.3.2 Resultado da Construção do Modelo em Equipe no projeto Purificação de Água 144
4.6.3.3 Discussão sobre os resultados do DUMAIC no projeto Purificação de Água 146
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES **149**
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 151
REFERÊNCIAS **152**
APÊNDICE A – PROJETO CLIENTE RETIRA / *WORKBOOK* 1 **161**
APÊNDICE B – PROJETO CLIENTE RETIRA / *WORKBOOK* 2 **166**
APÊNDICE C – PROJETO CLIENTE RETIRA / *WORKBOOK* 3 **175**
APÊNDICE D – PROJETO LAVAGEM DE REATORES / *WORKBOOK* 1 **188**
APÊNDICE E - PROJETO PURIFICAÇÃO DE ÁGUA / *WORKBOOK* 1 **194**
APÊNDICE F – PROJETO PURIFICAÇÃO DE ÁGUA / *WORKBOOK* 2 **204**

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A estrutura conceitual da gestão da qualidade desenvolveu-se como disciplina no século XX, dentro do contexto industrial. Na era da produção em massa, a qualidade caracterizou-se pelo foco na conformidade. Na nova era da customização em massa e competição global, o foco da qualidade direcionou-se para o entendimento, e, quando possível, para a antecipação das expectativas do cliente.

Na década de 1950, Feingenbaum propôs a primeira abordagem sistêmica da qualidade com o sistema TQC – *Total Quality Control*, que, posteriormente, influenciou a série ISO 9000 (CARVALHO, 2006). A evolução do TQC resultou no TQM - *Total Quality Management*, termo que surgiu a partir da década de 1980 (MIGUEL, 2006). O TQM emergiu do esforço de representar a dinâmica das organizações que visavam à melhoria contínua (CONTI, 2005).

Passado algum tempo, entretanto, verificou-se a perda de *momentum* da Qualidade e, entre as principais razões citadas para o declínio por esse interesse, estão os resultados abaixo do esperado obtidos pelo TQM (CONTI, 2005).

Nos Estados Unidos, o TQM declinou pelas seguintes razões, segundo Folaron e Morgan (2003): por enfatizar a melhoria da qualidade pela melhoria da qualidade ao invés de interligá-la à melhoria dos resultados financeiros das organizações; por focar em melhorias dentro de departamentos ou funções e não entre eles.

Para Ackoff (1993) muitas das falhas do TQM foram devidas à falta de orientação sistêmica. Todas as áreas da organização engajadas no TQM tentaram melhorar o desempenho independentemente das outras. Supunha-se que, se cada parte, separadamente, melhorasse seu desempenho, o desempenho da organização como um todo, iria necessariamente melhorar. Na realidade isso não aconteceu. O foco deveria ser nas interações, não nas ações tomadas separadamente. O produto ou serviço cuja qualidade deve ser melhorada necessita ser atacado holisticamente.

Conti (2004, 2005, 2006) também é da opinião de que a falha do TQM, ou mesmo a ISO9000, em graduações diferentes, foi a falta de perspectiva sistêmica. Muito

embora esses modelos abracem a “visão sistêmica da organização”, a ênfase dada aos relacionamentos é inadequada, pois prevalece a perspectiva analítica de causa e efeito bilateral. A visão analítica (algumas vezes mecanicista) ainda é o modo mais comum dos modelos de TQM serem interpretados.

O TQM se baseia em ferramentas e processos que assumem ser possível separar as causas no sistema em estudo. Como normalmente praticado, ele assume que a equipe de melhoria possa listar as causas e defeitos de um processo e cuidar delas seqüencialmente. As ferramentas, como Pareto e o Diagrama de Ishikawa, produzem as listas das causas dos diferentes defeitos. Os esforços para melhorar os diferentes processos progridem independentemente uns dos outros. Implicitamente, o TQM assume que o mundo possa ser decomposto em causas independentes que geram independentes efeitos (STERMAN et al., 1997).

Para Conti (2005) é necessário não só revitalizar os conceitos da qualidade, mas também integrar o Pensamento Sistêmico nos modelos de gestão da qualidade.

Atualmente o foco de muitos trabalhos na melhoria e na gestão da qualidade tem sido o Seis Sigma (STEINBERG, 2008). O Seis Sigma não é uma maneira revolucionária de pensamento e nem um conjunto radical de novas ferramentas. Ele é fruto de uma evolução na ciência da melhoria contínua que combina os melhores elementos das iniciativas da qualidade anteriores (FOLARON; MORGAN, 2003).

O Seis Sigma nasceu na década de 80, na Motorola, que se encontrava fortemente pressionada pela qualidade dos produtos de seus concorrentes externos. A Motorola levantou as melhores práticas das melhores empresas, usou os conceitos de capacidade de processo (c_p e c_{pk}) e comparou o desempenho que obtinham com as especificações dos produtos. O cálculo de capacidade levou ao número de Defeitos por Milhão de Oportunidades – DPMO. Após ganhar, em 1988, o *Baldrige Award,* a Motorola compartilhou com outras empresas as práticas de qualidade desenvolvidas.

O método original utilizado pela Motorola para implementar o Seis Sigma foi o MAIC– *Measure – Analyze – Improve – Control*, que assumia que o projeto partia de uma clara definição. A IBM e outras empresas identificaram a necessidade de assegurar que o projeto apresentasse, de forma clara, o escopo, os recursos e as definições, e acrescentaram a letra “D” para a fase Definir. Assim, o método tornou-se o DMAIC (FOLARON; MORGAN, 2003).

Segundo Breyfogle (2005), por causa das falhas de aprendizagem, poucas empresas vivem apenas a metade do que vivem muitos seres humanos. As

organizações que aprendem, entretanto, desafiam esses números e vencem a falta de habilidade de aprendizado, compreendendo as ameaças e reconhecendo novas oportunidades. Se a empresa escolhe quebrar um sistema complexo em muitos elementos, a otimização de cada elemento tipicamente não levará à otimização do sistema total. Por exemplo, otimizar o sistema de custos de compras escolhendo partes mais baratas, pode impactar nos custos de produção através do aumento da taxa de defeitos. Para Breyfogle (2005) as organizações necessitam criar um sistema Seis Sigma que impeça a otimização dos subsistemas à custa do sistema como um todo. Com o Pensamento Sistêmico, não se perde a visão global. Um desdobramento inteligente do Seis Sigma oferece um mapa do caminho para transformar dados em conhecimento, que guia para novas oportunidades e auxilia organizações comuns a se transformarem em organizações que aprendem.

1.2 OBJETIVO DA PESQUISA

Muito embora a visão sistêmica tenha sido proposta dentro da gestão da qualidade desde a década de 1950, em algumas organizações ela é apenas uma exortação; em outras, a sua prática é ainda deficiente. Este trabalho visa contribuir para o fortalecimento deste ponto. O objetivo deste trabalho é, pois, de

Desenvolver um modelo para integrar o Pensamento Sistêmico utilizando a Dinâmica de Sistemas Qualitativa nas etapas Definir e Medir do DMAIC nos projetos Seis Sigma que apresentem complexidade dinâmica.

Como resultado da aplicação deste modelo, espera-se fortalecer o entendimento e conhecimento sobre os problemas e assim, gerar aprendizado nas organizações.
A Dinâmica de Sistemas é um dos métodos desenvolvidos com foco no Pensamento Sistêmico. Ela provê uma metodologia que transforma o conhecimento tácito em explícito, permitindo o seu conhecimento por uma comunidade e uma estrutura para conhecer a realidade (BARTON et al., 2004).
Na sua forma original, a Dinâmica de Sistemas se apresenta como uma ferramenta para construir modelos quantitativos do mundo real. Entretanto, muitos

desenvolvimentos surgiram no início da década de 80, fazendo seu uso puramente qualitativo para modelar diferentes percepções e crenças das pessoas sobre eventos e ocorrências. Esses modelos podem ser usados como parte de um processo de aprendizado de um grupo para tomada de decisão (COYLE, 2000; MINGERS, 2003).

Este trabalho propõe um modelo para a implantação de projetos Seis Sigma denominado DUMAIC, onde a letra U significa *Understand*, ou seja, o modelo enfatiza a introdução de uma fase na qual se utiliza o Pensamento Sistêmico para que a equipe do projeto identifique, de modo compartilhado e com visão sistêmica, quais são as variáveis que contribuem de modo importante para a dinâmica do sistema e suas possíveis inter-relações.

1.3 JUSTIFICATIVA

O esforço empenhado em um projeto Seis Sigma para se obter resultados de 3,4 ppm ou 3,4 DPMO só deve ser realizado quando as variáveis a serem melhoradas contribuam efetivamente para a melhoria do sistema como um todo. De nada adianta todo um trabalho em equipe, com ferramentas estatísticas apuradas, quando os resultados da melhoria obtidos sejam apenas locais e não tragam retornos que se traduzam em ganhos financeiros.

Justifica-se introduzir entre as ferramentas utilizadas no Seis Sigma aquelas que fortaleçam o pensamento sistêmico, visto que possibilitam identificar pontos de alta alavancagem para o sistema global com resultados de melhoria de longo prazo.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Muito embora os trabalhos de pesquisa de campo tenham sido aceitos e iniciados em seis projetos Seis Sigma, somente foram concluídos em três deles. As conclusões desta pesquisa são, portanto, limitadas aos três projetos realizados.

A pesquisa se preocupa em fomentar o uso do Pensamento Sistêmico nas etapas Definir e Medir do DMAIC. Essas são as etapas de definição do escopo e de identificação dos CTQs, das variáveis Críticas para a Qualidade. Portanto, não foi intenção:

- Seguir com as etapas de formulação e desenvolvimento de modelos quantitativos para posterior simulação. Nada impede, porém, que na etapa Melhorar, o modelo seja utilizado como base para essas simulações.
- Acompanhar as equipes após a aplicação do modelo até o fechamento do projeto Seis Sigma.

1.5 ESTRUTURA DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A formatação de vários itens do projeto de pesquisa, desde o seu início, seguiu indicações retiradas de Lakatos e Marconi (2001) e Barros e Lehfeld (2003).
Este trabalho foi estruturado em seis capítulos, conforme ilustrado na Figura 1.

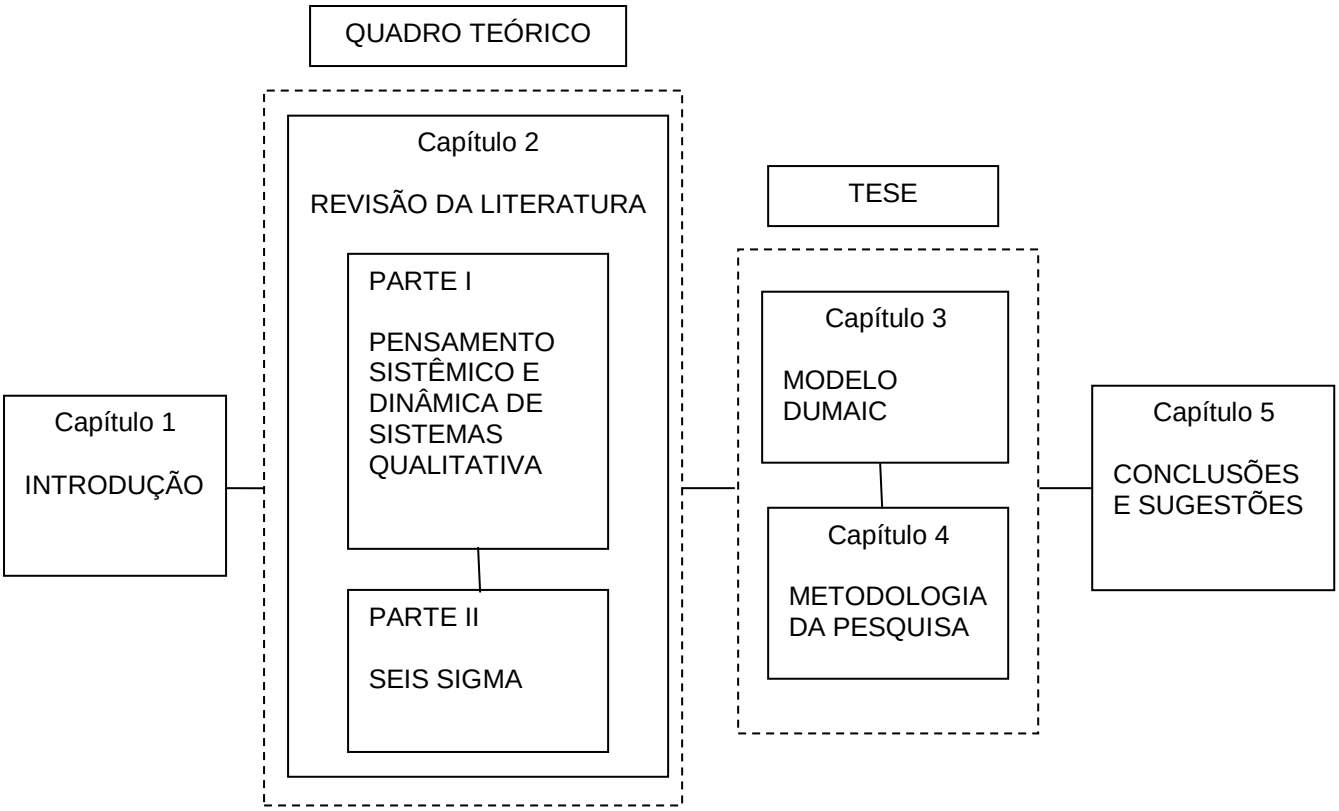


Figura 1 – Estrutura do trabalho
Fonte: A autora

No Capítulo 1 é introduzido o trabalho apresentando-se o contexto em que ele se insere, o objetivo da pesquisa, a justificativa para sua realização, as limitações e a estrutura do desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 2 é reservado à formulação do quadro teórico e se divide em duas partes, visto que o assunto conta com uma quantidade incipiente de fontes bibliográficas que o integre:

- Parte I – trata dos conceitos relativos ao Pensamento Sistêmico e ao método escolhido neste trabalho para desenvolvê-lo, ou seja, a Dinâmica de Sistemas Qualitativa.
- Parte II – fornece uma visão sucinta do Seis Sigma, com opção pelo DMAIC como metodologia de implementação. É feita uma análise crítica da ferramenta normalmente utilizada para analisar Causa e Efeito.

O Capítulo 3 apresenta o modelo DUMAIC, que é sugerido para integrar o Pensamento Sistêmico nos projetos Seis Sigma.

O Capítulo 4 apresenta a abordagem metodológica utilizada na pesquisa e os resultados da aplicação do modelo em campo.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A fundamentação teórica deste trabalho abrange dois temas principais que serão divididos em duas partes. A Parte I trata do Pensamento Sistêmico e da Dinâmica de Sistemas Qualitativa e a Parte II do Seis Sigma.

PARTE I: PENSAMENTO SISTÊMICO E DINÂMICA DE SISTEMAS QUALITATIVA

2.1 CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Na história do conhecimento científico, o Método Indutivo de Francis Bacon (1561-1626) predominou desde o final do século XVII até o século XIX. O Método Indutivo é uma teoria de como buscar e aumentar o conhecimento visando atingir a verdade absoluta. Alguns acontecimentos foram fundamentais no estabelecimento do Método Indutivo por um período tão longo: a adoção do método pela Royal Society of London, o sucesso da Dinâmica de Newton apresentado como um produto da indução e a disposição anti-católica na Inglaterra, pois a igreja católica era criticada por voltar-se à especulação das essências e não à realidade objetiva (BELL; BELL, 1980).

Mas nem todos concordavam com as idéias de Bacon. David Hume (1711-1760) e William Whewell (1794-1866) defenderam pontos de vista contrários aos de Bacon. Hume forneceu argumentos que levaram a outro método para o avanço do conhecimento - o Instrumentalismo. As análises psicológicas e históricas de Whewell foram sementes que germinaram por um século, para que, no início da década de 1960, Kuhn lançasse a teoria dos Paradigmas (BELL; BELL, 1980).

Kuhn (2007) conceituou como “Paradigma” a realização científica universalmente reconhecida que, durante algum tempo, fornece os problemas e as soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência.

O sucesso do desenvolvimento de um paradigma se dá em duas etapas: na etapa inicial há apenas uma promessa de sucesso que pode ser descoberta a partir de exemplos selecionados e ainda incompletos; na etapa seguinte, cabe à “Ciência Normal”, ou seja, a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas do paradigma, a atualização dessa promessa, ampliando o conhecimento daqueles fatos que o paradigma apresenta como particularmente relevantes, aumentando a correlação entre esses fatos e as predições do paradigma e articulando ainda mais o próprio paradigma (KUHN, 2007).

A transição de um paradigma em crise para um novo, a partir do qual possa surgir uma nova ciência normal, não pode ser vista como um processo cumulativo obtido através de uma articulação do velho paradigma. Ela é, antes de tudo, uma reconstrução da área de estudos a partir de novos princípios, uma reconstrução que altera algumas das generalizações teóricas mais elementares do paradigma, bem como muitos de seus métodos e aplicações. A transição não é imediata e durante esse período haverá uma grande coincidência (embora nunca completa) entre os problemas que podem ser resolvidos pelo antigo paradigma e os que podem ser resolvidos pelo novo. Haverá igualmente uma diferença decisiva no tocante aos modos de solucionar os problemas. Ao ser completada a transição, os cientistas terão modificado a sua concepção da área de estudos, de seus métodos e de seus objetivos. Este é um processo que envolve manipular o mesmo conjunto de dados usado anteriormente, mas estabelecendo entre eles um novo sistema de resoluções, organizado a partir de um quadro de referência diferente (KUHN, 2007).

Segundo Kuhn (2007), a transição para um novo paradigma é uma “Revolução Científica”, marcada pela ocorrência de investigações extraordinárias que conduzem a um novo conjunto de compromissos, a uma nova base para a prática da ciência. O resultado final de uma seqüência de seleções revolucionárias, separadas por períodos de pesquisa normal, é o conjunto de instrumentos chamado de “Conhecimento Científico” moderno. Os estágios sucessivos desse processo de desenvolvimento são marcados por um aumento de articulação e especialização do saber científico.

2.2 MUDANÇA DE PARADIGMA

Uma nova teoria, por mais particular que seja seu âmbito de aplicação, nunca ou quase nunca é um mero incremento a algo já conhecido. Sua assimilação requer a reconstrução da teoria precedente e a reavaliação dos fatos anteriores. Esse processo revolucionário raramente é completado por uma só pessoa e nunca de um dia para outro (KUHN, 2007). Aliás, pode-se perceber que a passagem de um paradigma a outro é um processo muito lento.

Segundo Gharajedaghi (2006), uma mudança de paradigma pode aparecer intencionalmente, através de um ativo processo de aprendizado e desaprendizado. O mais comum, entretanto, é uma reação à frustração produzida por uma seqüência de eventos que anulam a sabedoria convencional. Diante de uma série de contradições que não podem mais ser ignoradas ou negadas, e/ou um crescente número de dilemas para os quais os modelos mentais prevalecentes não fornecem mais explanações convincentes, muitas pessoas aceitam que o paradigma atual deixou de ser válido e que se exauriu a sua capacidade potencial.

A mudança de paradigma pode acontecer em duas dimensões: na natureza da realidade ou no método de investigação. Também é possível uma mudança dual envolvendo ambas as dimensões (GHARAJEDAGHI, 2006). Um esquema dessas mudanças está representado na Figura 2.

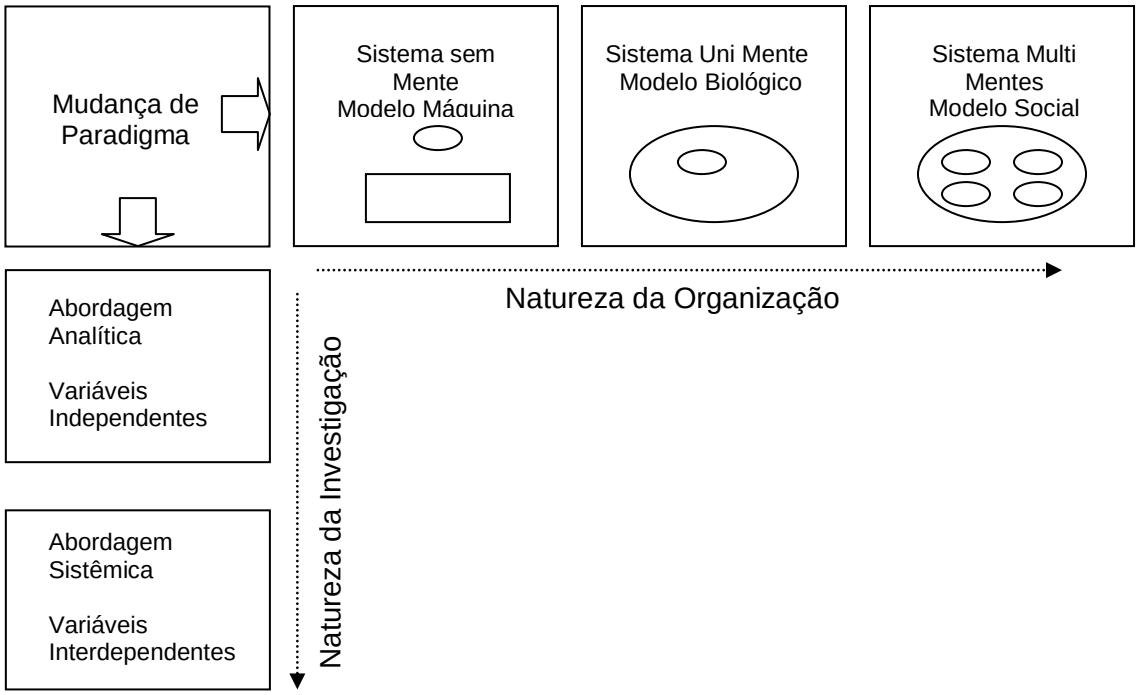


Figura 2 - Mudanças de Paradigma
Fonte: Adaptado de Gharajedaghi (2006)

Segundo Gharajedaghi (2006), atualmente estamos diante de um desafio de mudança dual de paradigma: na natureza da organização, passando do modelo biológico para o modelo sócio-cultural e também uma profunda mudança nas suposições relativas à natureza da investigação, passando da abordagem analítica (a ciência de lidar com um conjunto de variáveis independentes) para a abordagem sistêmica (a ciência de tratar com conjunto de variáveis interdependentes).

Como é intenção deste trabalho tratar da mudança de paradigma segundo a natureza da investigação, o foco se dará nesse sentido, ou seja, segundo a seta de cima para baixo da Figura 2.

A ciência clássica se preocupa com variáveis independentes, assumindo que o todo é igual à soma das partes. Em conseqüência, para entender o comportamento do sistema, é necessário apenas avaliar o impacto que cada variável independente possui sobre o sistema (GHARAJEDAGHI, 2006).

A utilização de variáveis independentes é a essência do pensamento analítico, que permaneceu intacto ao longo dos três contextos da natureza da organização – físico (ou máquina), biológico e social. Na realidade, devido à glória da ciência clássica, ambas as ciências, a biológica e a social, optaram pelo uso do método analítico sem nenhuma alteração. Isso explicaria porque todo um conjunto de fenômenos, conhecidos como propriedades emergentes, foi ignorado. Porém, as propriedades como o amor, sucesso e felicidade não resultam do tratamento analítico (GHARAJEDAGHI, 2006).

As propriedades emergentes não podem ser reduzidas a nenhuma combinação das propriedades dos componentes do sistema (CONTI, 2006).

Entretanto, aumentam as conclusões de que, variáveis tomadas como independentes efetivamente não o são, e que este constructo que serviu tão bem no passado não é mais eficaz. Na verdade, um conjunto de variáveis independentes é um caso especial de um esquema mais geral de interdependência. Quanto mais um sistema se torna sofisticado, a realidade da interdependência se torna mais pronunciada (GHARAJEDAGHI, 2006).

A compreensão do fenômeno de interdependência requer uma maneira de pensar diferente do pensamento analítico, sendo necessário utilizar o Pensamento Sistêmico (GHARAJEDAGHI, 2006).

2.3 PARADIGMA DA ABORDAGEM SISTÊMICA

A ciência clássica é inteiramente adequada a fenômenos que ou podem ser resolvidos em cadeias causais isoladas ou são resultados estatísticos de um número infinito de processos aleatórios, como por exemplo, na mecânica estatística, no segundo princípio da termodinâmica e em todas as leis que dele derivam. Mas, em se tratando de casos da interação de um número grande, porém limitado de elementos ou processos, os modos clássicos de pensar deixam de ter êxito. Tais problemas exigem então novos meios de pensamento matemático (BERTALANFFY, 1973).

Para Bertalanffy (1986), a noção de sistema é tão antiga quanto a filosofia na Europa. A filosofia, precursora da ciência, nasceu quando os antigos gregos aprenderam a considerar ou encontrar, através de experimentação, a ordem ou cosmos compreensível e, portanto, controlável pelo pensamento e razão. Uma formulação da ordem cósmica foi apresentada por Aristóteles, com noções holísticas[1] e teleológicas[2]. A declaração de Aristóteles de que "o todo é mais do que a soma das partes" é uma declaração básica do problema de sistemas que ainda hoje é válida.

Sendo assim, os problemas que atualmente são tratados sob o termo de sistemas não nasceram ontem frutos da matemática, ciência e tecnologia. Aliás, eles são uma expressão contemporânea de problemas perenes que foram reconhecidos há séculos e discutidos na linguagem disponível em seu tempo (BERTALANFFY, 1986).

A ordem ou organização do todo ou sistema, transcendendo suas partes quando essas são consideradas isoladamente, não é metafísica, superstição antropomórfica ou especulação filosófica; isto é um fato de observação encontrado em qualquer organismo vivo, grupo social e mesmo um átomo (BERTALANFFY, 1986).

A revolução científica dos séculos XVI-XVII trocou a concepção descritiva - metafísica do universo da doutrina Aristotélica pelo conceito matemático-positivista

---

[1] Que aplica o holismo, ou seja, a visão que um todo orgânico ou integrado possui uma realidade independente e maior que a soma de suas partes (HOLISM. In WEBSTER'S NEW WORLD DICTIONARY. Cleveland: Collins World, 1978).

[2] Que aplica a teleologia, o estudo das causas finais; a crença que fenômenos naturais são determinados não apenas por causas mecânicas, mas por um objeto amplo de propósitos da natureza (TELEOLOGY. In WEBSTER'S NEW WORLD DICTIONARY. Cleveland: Collins World, 1978).

de Galileu, ou seja, a visão do mundo como cosmos teleológico cedeu lugar à descrição de eventos em leis causais, matemáticas. A ciência, entretanto, não estava preparada para tratar desses problemas. A segunda máxima de Descartes, o *Discurso do Método* era “quebrar o problema em tantos elementos simples quanto possível”. Similarmente Galileu formulou o método “resolutivo”, que foi o paradigma conceitual da ciência desde a sua fundação até o moderno trabalho em laboratório; ou seja, reduzir os fenômenos complexos em partes e processos elementares (BERTALANFFY, 1986).

Esse método trabalhou admiravelmente bem enquanto observou eventos que podiam ser divididos em cadeias causais isoladas. Essa foi a raiz do enorme sucesso da física e da conseqüente tecnologia. Mas, as questões de problemas de muitas variáveis sempre permaneceram. Esse foi o caso do problema dos três corpos na mecânica; a situação agravou-se quando a organização de organismos vivos ou mesmo do átomo, além do mais simples sistema de hidrogênio próton-elétron foi considerada (BERTALANFFY, 1986).

A luta com o conceito de organismo, nas primeiras décadas do século XX, indicou dúvidas crescentes a respeito do paradigma da ciência clássica, ou seja, a explanação dos fenômenos complexos em termos de elementos isolados. No final da década de 1920, Bertalanffy, que atuava na área da biologia, disse que, como a característica fundamental dos organismos vivos era a organização, a investigação usual das partes separadas e dos processos não podia fornecer uma explanação completa dos fenômenos vitais. Essa investigação não fornecia informação sobre a coordenação das partes e processos. Então, a tarefa principal da biologia seria descobrir as leis dos sistemas biológicos (em todos os níveis de organização). E assim foi criada a Teoria do Sistema do Organismo. Essa foi a semente do que mais tarde se chamaria Teoria Geral dos Sistemas, com o termo organismo cedendo lugar para outras entidades organizadas, como grupos sociais ou dispositivos tecnológicos (BERTALANFFY, 1986).

As propriedades e modos de ação dos níveis mais altos em um sistema não são explicáveis pela soma das propriedades e modos de ação dos componentes tomados separadamente. Se, entretanto, são conhecidos o conjunto de componentes e as relações existentes entre eles, então os níveis mais altos são deriváveis dos componentes (BERTALANFFY, 1986).

A ciência clássica era pouco adaptada para tratar das relações dos sistemas. Weaver colocou que a ciência clássica preocupava-se com a causalidade de uma via ou relações entre duas variáveis, tais como a atração do sol e um planeta, mas mesmo o problema dos três corpos da mecânica não permitia uma solução próxima por métodos analíticos da mecânica clássica (BERTALANFYY, 1986).

Esta foi a razão pela qual, apesar dos problemas sobre "sistemas" serem antigos e conhecidos por muitos séculos, os mesmos não se desenvolveram como ciência. As lacunas nas técnicas matemáticas e a necessidade de uma nova epistemologia[3] deram visibilidade somente à força da ciência clássica e de seu sucesso através de séculos**,** o que militou contra mudanças no paradigma fundamental da causalidade de uma via e a resolução em unidades elementares (BERTALANFFY, 1986).

De acordo com a Teoria Geral dos Sistemas que foi formulada e apresentada por Bertalanffy em 1930

> Existem modelos, princípios e leis que se aplicam a sistemas em geral ou suas subclasses independentemente do tipo particular, da natureza dos elementos componentes, e das relações ou forças entre eles. Postulamos uma nova disciplina chamada Teoria Geral dos Sistemas como um campo matemático lógico cuja tarefa é a formulação e derivação desses princípios gerais aplicáveis aos sistemas em geral. Dessa forma, exata formulação de termos como totalidade, soma, diferenciação, mecanização progressiva, centralização, ordem hierárquica, finalidade, equifinalidade tornam-se possíveis, termos que ocorrem em todas as ciências que tratam de sistemas (BERTALANFFY, 1986, p.411).

Outros promotores simultaneamente a Bertalanffy apresentaram propostas para uma teoria dos sistemas: Kohler generalizou a Gestalt em uma teoria geral dos sistemas; as discussões de Lotka sobre equações diferenciais simultâneas permaneceram básicas para a subseqüente teoria dos sistemas dinâmicos; as equações de Volterra, desenvolvidas originariamente para a competição entre as espécies foram aplicáveis em cinética e dinâmica; Ashby usou as mesmas equações que Bertalanffy usou, derivando, entretanto, em diferentes conseqüências (BERTALANFFY, 1986).

Nessa mesma época três contribuições fundamentais apareceram ao mesmo tempo: *Cybernetics* de Wiener em 1948, a teoria da informação de Shannon e Weaver em 1949 e a teoria dos jogos de Von Neumann e Morgenstern em 1947 (BERTALANFFY, 1973).

No seu trabalho *Cybernetics,* Norbert Wiener nomeou e esboçou os contornos de um novo campo de investigação. A Cibernética tornou-se o estudo de como os sistemas

---

[3] O estudo ou teoria da origem, natureza, métodos e limites do conhecimento (EPISTEMOLOGY. In WEBSTER'S NEW WORLD DICTIONARY. Cleveland: Collins World, 1978).

biológicos, de engenharia, sociais e econômicos são controlados e regulados. Wiener propôs que os mesmos princípios gerais que controlam a temperatura do corpo e a altitude de um avião podiam atuar nos mecanismos de mercado de sistemas econômicos, nos mecanismos de tomada de decisão dos sistemas políticos e nos mecanismos cognitivos dos sistemas psicológicos.

Os primeiros cientistas dos sistemas trabalharam sobre a prova das afirmações de Wiener, pois se fosse considerada verdadeira, grandes avanços no conhecimento humano poderiam ser feitos através do estudo desses princípios sistêmicos gerais de organização (ROBERTS et al., 1983).

O sucesso das equipes científicas no terreno militar da Segunda Guerra Mundial foi notável tanto na Inglaterra como nos Estados Unidos. Como conseqüência, depois da guerra houve uma corrida para aplicar o mesmo tipo de pensamento, que era então chamado de “pesquisa operacional”, a vários problemas não militares e em particular, à indústria. A princípio os problemas tratados pelos cientistas eram pequenos e tinham a ver com temas como produção, comercialização (*marketing*) e finanças. Mas, o aparecimento do computador surgiu como um enorme auxílio para o cientista. Na década de 1950 a capacidade do computador já sugeria a possibilidade de usá-lo como meio de processar enormes quantidades de informação. Juntamente com esse crescimento da capacidade do computador, ampliou-se o interesse dos cientistas em problemas e métodos de ação, em estratégia e tática no campo militar. À medida que a perspectiva do cientista se ampliava, este começou a interpretar seu enfoque como “enfoque sistêmico”. Com o tempo, os decisores, tanto na indústria como no governo, começaram a perceber os possíveis valores do chamado enfoque sistêmico (CHURCHMAN, 1971).

Apesar das grandes visões dos primeiros seguidores da Cibernética ainda estarem por se realizar, em algumas décadas, desde que as primeiras pesquisas foram articuladas, alguns pesquisadores fizeram grandes progressos aplicando a perspectiva sistêmica em campos muito diversos. Por exemplo, Karl Deutsch ilustrou uma visão cibernética dos processos políticos em seu clássico trabalho, *The Nerves of Government* em 1963. Herbert Simon em 1965 propôs uma visão cibernética da inteligência humana. Jay Forrester aplicou os amplos princípios da cibernética aos sistemas industriais em seu trabalho *Industrial Dynamics* em 1961 (ROBERTS et al., 1983).

2.4 SISTEMAS

O mundo que nos cerca é composto por sistemas. Às vezes tem-se a impressão de que não existe interação entre os elementos, mas normalmente eles interagem uns com os outros. Os átomos interagem, as moléculas, as células, os planetas, os seres humanos também. Sistema é o todo que se caracteriza pelas interações, pelas interdependências entre suas partes constituintes (CONTI, 2006).

Vários autores contribuíram para a definição de “Sistema”:

- Um conjunto de elementos inter-relacionados entre si e com o ambiente (BERTALANFFY, 1986);
- Um conjunto de componentes que atuam juntos na execução do objetivo global do todo (CHURCHMAN, 1971);
- Uma combinação de componentes (unidades funcionais) ou elementos que agem juntos para desempenharem um objetivo específico, um propósito (OGATA, 2004; ROBERTS et al., 1983).

Os sistemas não se limitam ao domínio dos fenômenos físicos, podendo ser estendidos aos fenômenos dinâmicos abstratos, tais como os encontrados em economia, transportes, crescimento de populações e biologia (OGATA, 2004).

O problema metodológico da teoria dos sistemas consiste em resolver problemas que, comparados aos problemas analíticos e somatórios, são de natureza mais geral. Vários enfoques para tratar desses problemas, que vão desde os clássicos, como os sistemas de engenharia, pesquisa operacional, programação linear e não linear, são apresentados em Bertalanffy (1973).

Quanto às características dos sistemas, pode-se dizer que existe um grande conjunto delas que são utilizadas na investigação dos sistemas, porém, como não é intenção deste documento esgotar esse tema, serão abordadas a seguir, apenas as características que mais tarde serão necessárias para o entendimento deste trabalho.

Diz-se que um sistema é dinâmico ou variante no tempo, quando ele apresenta saídas que dependem de entradas passadas; se a saída atual depende apenas da entrada atual, o sistema é conhecido como estático ou invariante no tempo. A saída

de um sistema estático permanece constante se a entrada não se altera; a saída se altera apenas quando a entrada se altera. Em um sistema dinâmico, a saída se altera em função do tempo se o mesmo não tiver atingido o estado de equilíbrio (OGATA, 2004).

Os sistemas são chamados de lineares quando o princípio da superposição é aplicável. Esse princípio declara que a reposta produzida pela aplicação simultânea de duas entradas diferentes é a soma das duas respostas individuais (OGATA, 2004). Em uma investigação experimental de um sistema dinâmico, se a causa e o efeito são proporcionais, o sistema é linear.

Quando os sistemas são não lineares, uma característica importante é que o princípio da superposição não se aplica (OGATA, 2004). Em geral os procedimentos para encontrar as soluções de sistemas não lineares são complicados por raramente terem solução analítica e por envolverem técnicas de cálculo numérico.

Quanto às falhas percebidas em um sistema, tem-se que raramente elas podem ser consideradas separadamente e removidas uma a uma. As falhas são geralmente propriedades sistêmicas que surgem da interação das partes do sistema. Para corrigi-las deve-se lidar com elas holisticamente, não analiticamente (ACKOFF, 2003).

Essas características dos sistemas devem ser consideradas e vão implicar diretamente na escolha adequada dos métodos utilizados para analisar causa e efeito.

2.4.1 **Descrição dos Sistemas**

Há dois tipos principais de descrição dos sistemas: a externa e a interna. Cada uma delas se aplica melhor para um determinado propósito.

A descrição externa é funcional e o comportamento do sistema é descrito em termos da interação com o ambiente. Já a descrição interna é essencialmente estrutural, isto é, ela descreve o comportamento do sistema em termos de variáveis de estado e suas interdependências (BERTALANFFY, 1986).

2.4.1.1 Descrição Externa

A descrição externa de um sistema é dada em termos de entradas e saídas e a forma geral é a Função de Transferência[4] que relaciona essas entradas e saídas (BERTALANFFY, 1986).

Na descrição externa diz-se que a saída *Y* é uma função da entrada *x* e o sistema é apresentado da seguinte maneira:

$$Y = f(x) \tag{1}$$

onde:

Y : saída do sistema

x : entrada do sistema

f : função de transferência que converte a entrada *x* na saída *Y*

Funções de transferência são funções que modelam o comportamento dinâmico de um par entrada-saída de um sistema, ou seja, descrevem como uma determinada entrada é dinamicamente "transferida" para a saída do sistema (AGUIRRE, 2000).

A função de transferência é uma propriedade do próprio sistema, independente da entrada. Ela inclui as unidades necessárias para relacionar a entrada com a saída, entretanto, não fornece qualquer informação relativa à estrutura física do sistema (OGATA, 1982; AGUIRRE, 2000).

Quando os sistemas são complexos eles podem ter múltiplas entradas e múltiplas saídas, ou seja, são multivariáveis, e podem ser variantes no tempo (OGATA, 1982).

A maioria dos sistemas encontrados nas organizações é multivariável, isto é, envolve múltiplas entradas e múltiplas saídas, e são variantes no tempo, o que torna o uso da descrição externa para os sistemas organizacionais não muito apropriada.

2.4.1.2 Descrição Interna

[4] A função de transferência de um sistema é, por definição, a transformada de Laplace da sua resposta a uma entrada impulso (AGUIRRE, L.A, 2000).

Uma representação que pode ser usada para modelar relações entre variáveis internas ao sistema é a representação em espaços de estados. Esse tipo de representação descreve o sistema no domínio do tempo e é mais conveniente para representar sistemas não-lineares e multivariáveis do que a função de transferência (AGUIRRE, 2000).

Analiticamente, a evolução temporal de variáveis no tempo pode ser expressa por um conjunto de n equações diferenciais de primeira ordem simultâneas:

$$dQ_n /dt = f_i (Q_1, Q_2, ..., Q_n) \qquad (2)$$

Essas equações são chamadas de equações dinâmicas ou de movimento. Sistemas de equações diferenciais permitem a expressão formal de propriedades do sistema, tais como totalidade e soma, estabilidade, crescimento, competição, entre outros (BERTALANFFY, 1986).

Desta forma, o comportamento dos sistemas é descrito pela teoria das equações diferenciais, que é um campo bastante conhecido e desenvolvido da matemática.

O estado de um sistema dinâmico é o menor conjunto de variáveis (chamadas variáveis de estado) tal que o conhecimento dessas variáveis em $t = t_0$, juntamente com a entrada para $t \geq t_0$, determina completamente o comportamento do sistema para qualquer instante $t \geq t_0$. Portanto, o estado de um sistema dinâmico no instante t é univocamente determinado pelo estado no instante t_0 e a entrada para $t \geq t_0$, e é independente do estado e a entrada antes de t_0 (OGATA, 1982).

Se n variáveis $x_1(t), x_2(t),..., x_n(t)$ descrevem completamente o comportamento de um sistema dinâmico, então as tais n variáveis $x_1(t), x_2(t),..., x_n(t)$ são um conjunto de variáveis de estado. Note-se que as varáveis de estado não precisam ser grandezas fisicamente mensuráveis ou observáveis (OGATA, 1982).

Um modelo linear típico em espaço de estados, tem a seguinte forma (AGUIRRE, 2000):

$$\begin{cases} dx/dt = A\,x + B\,u \\ y = C\,x + D\,u \end{cases} \qquad (3)$$

onde:

x é o vetor de estado n-dimensional

$u(t) \in R_r$ é o vetor de entradas formado por r funções temporais

$y(t) \in R_p$ é o vetor p-dimensional de saídas

A,B,C,D são matrizes com valores constantes e dimensões compatíveis com as dimensões dos vetores de entrada e de saída

O modelo será multivariável se $r > 1$ e/ou $p > 1$. Se houver apenas uma entrada $(r = 1)$ e uma saída $(p = 1)$, o modelo é dito monovariável.
O conceito de descrição interna do sistema é muito importante quando se analisam comportamentos gerados pela estrutura dos sistemas e pelas inter-relações entre as variáveis internas além daqueles advindos da interação com o ambiente.

2.5 PENSAMENTO SISTÊMICO

Após o conceito de sistema e uma apresentação de como o mesmo pode ser matematicamente descrito, esta parte do trabalho discorrerá sobre o que significa pensar sistemicamente.
O Pensamento Sistêmico emergiu como um ponto de convergência entre ciências, uma maneira fundamental de interpretar a natureza e de dominar a complexidade crescente dos produtos da inteligência humana (CONTI, 2006).
Churchman (1971) cita que é pura insensatez esperar que algum ser humano tenha sido capaz de chegar a uma compreensão tal da sociedade, de modo a poder identificar os problemas centrais e determinar o modo como deveriam ser resolvidos. Os sistemas em que vivemos são até agora demasiado complicados para que nossos poderes intelectuais e nossa tecnologia possam compreendê-los.
Quanto mais são estudados os problemas de nosso tempo, mais se percebe que eles não podem ser entendidos isoladamente. Eles são problemas sistêmicos – interconectados e interdependentes. Assim, a estabilização da população só será possível quando a pobreza mundial for reduzida. A extinção dos animais e das plantas em escala maciça continuará enquanto o terceiro mundo carregar suas pesadas dívidas e os países desenvolvidos financiarem essa destruição. Apenas

quando parar a corrida internacional de armas, haverá recursos para prevenir a destruição do ambiente e da vida humana (CAPRA, 1990).

Para Andrade et al. (2006) o Pensamento Sistêmico não nega o Pensamento Mecanicista, mas este último está restrito a situações em que haja: razoável grau de estruturação dos problemas; razoável estabilidade do ambiente; baixo grau de complexidade dinâmica; baixo grau de influência das percepções de diferentes atores a partir de distintos interesses. Fora desses parâmetros, o Pensamento Sistêmico torna-se mais efetivo.

O “Pensamento Sistêmico” é, pois, descrito como sendo:

- Uma estrutura conceitual, um conjunto de conhecimentos e ferramentas desenvolvido ao longo dos últimos cinqüenta anos para esclarecer os padrões como um todo que permita ver como modificá-los efetivamente. No pensamento sistêmico dá-se importância aos inter-relacionamentos, ao invés de eventos (SENGE, 2002).
- A habilidade de ver o mundo como um sistema complexo (STERMAN, 2001).
- Um modo de pensar a respeito dos sistemas totais e seus componentes (CHURCHMAN, 1971).

Andrade et al. (2006) vêem como características do Pensamento Sistêmico as mudanças de ênfase nos seguintes pontos: das partes para o todo, dos objetos para os relacionamentos, das hierarquias para as redes, da causalidade linear para a circularidade, da estrutura para o processo, da metáfora mecânica para a metáfora do organismo vivo e outras não mecânicas, do conhecimento objetivo para o conhecimento contextual e epistêmico, da verdade para as descrições aproximadas, da quantidade para a qualidade, do controle para a cooperação, influenciação e ação não violenta.

Um bom exemplo que demonstra a necessidade do pensamento sistêmico foi a corrida armamentista que envolveu os Estados Unidos e a União Soviética (SENGE, 1990; STERMAN, 2000). Durante aproximadamente quarenta anos, essas duas potências se engajaram em uma corrida cujas raízes não eram nem ideologias políticas rivais nem as armas nucleares, mas a mesma forma de pensar de ambas as partes. Para cada um dos lados, o oponente era o agressor e a expansão das armas nucleares era uma resposta defensiva às ameaças impostas. Mas, os pontos de vista individuais dos dois países interagem criando um sistema, um conjunto de

variáveis que se influenciam mutuamente criando um ciclo perpétuo de agressão. No curto prazo cada um responde ao que percebe como ameaça, de modo a diminuir a tensão interna. Mas, analisando-se com visão sistêmica, se veria que no longo prazo essas ações unilaterais reforçam o aumento de tensão.

Em geral, na solução de um problema é difícil de se descobrir onde está a maior alavancagem, ou seja, onde efetuar uma mudança que – com o mínimo de esforço – resulte em melhoria duradoura e significativa. O principal resultado prático do pensamento sistêmico é o de identificar as variáveis que contribuem para a alavancagem do sistema. Muitas vezes, a alavancagem segue o princípio da economia dos meios onde os melhores resultados provêem, não de esforços em larga escala, mas sim de pequenas ações bem focalizadas. O problema é que as mudanças de alta alavancagem não são óbvias para a maioria dos envolvidos no sistema, pois muitas vezes "não estão próximas no tempo e no espaço" dos sintomas óbvios do problema (SENGE, 2002).

Percebe-se, portanto, que só é possível efetuar mudanças de alta alavancagem quando se conhece as forças que fazem parte do sistema e quais são as suas interações.

Como o Pensamento Sistêmico é uma disciplina que enxerga as "estruturas" subjacentes às situações complexas, isso permite discernir entre mudanças de alta e de baixa alavancagem, ou seja, ao ver o todo (*whole*), aprendemos a fomentar a saúde (*health*). Para tanto, o Pensamento Sistêmico oferece uma linguagem que começa com a estruturação do modo como pensamos (SENGE, 2002).

O processo de mudança sustentada tem as características básicas de um processo de aprendizagem contínua: ele é em espiral, com cada ciclo realizado em sucessivas evoluções; é experiencial, o conhecimento e a realização criativa são construídos com base na experiência e conhecimento anteriores disponíveis; tem base no processo criativo, a construção coletiva ocorre a partir de uma tensão criativa envolvendo a contraposição de um entendimento sistêmico da realidade presente e de uma visão de futuro profundamente desejada; intenciona evoluir o sistema organizacional por meio da mudança adaptativa ou da reestruturação criativa; precisa ser sustentado por habilidades, capacidades, ambientes e inovações na arquitetura organizacional (ANDRADE, 2006).

2.5.1 Desenvolvimento do Pensamento Sistêmico

A aprendizagem é um processo que interliga o mundo real com as mentes dos seres humanos. A partir das experiências e dos resultados das ações, cria-se um conjunto de idéias chamadas de modelos mentais (ANDRADE et al., 2006).

Para entender como se desenvolve o pensamento sistêmico é interessante fazer a distinção entre os dois tipos de aprendizado, conforme citado em Argyris (1999):

(i) O aprendizado de malha simples, que é exemplificado pelo termostato. O termostato alterna entre os estados *on* e *off* para manter a temperatura requerida.

(ii) O aprendizado de malha dupla, que é exemplificado quando o termostato coloca para si mesmo questões como "por que eu estou posicionado (*set point*) em 68 graus?". Nas empresas este é um caso em que o progresso depende do questionamento de programas ou políticas não claramente evidentes.

Também citando a diferença entre os dois tipos de aprendizado, Sterman (2000) coloca que este é uma clássica malha de realimentação negativa onde os decisores comparam informações do mundo real com os vários objetivos, percebem as discrepâncias entre o estado desejado e o real, e tomam ações que acreditam que irão fazer com que o mundo real se mova em direção ao estado desejado, conforme mostrado na Figura 3.

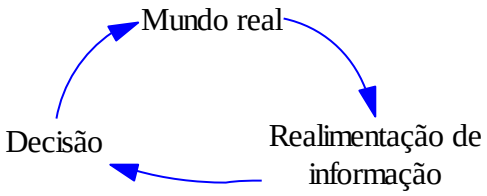


Figura 3 - O aprendizado como um processo de realimentação
Fonte: Sterman (2000)

Mas, essa malha de realimentação obscurece um importante aspecto do processo de aprendizado: a realimentação do mundo real não é a única entrada para a tomada de decisões. As decisões são resultados das aplicações das regras de decisão ou de políticas. As políticas são condicionadas por estratégias organizacionais, estruturas institucionais, e normas culturais. Essas por sua vez são

governadas pelos modelos mentais. Se os modelos mentais permanecem intocáveis, a malha de realimentação representa a malha simples de Argyris, um processo de aprendizado para alcançar os objetivos no contexto dos modelos mentais existentes (STERMAN, 2000). Essa malha de realimentação está apresentada na Figura 4.

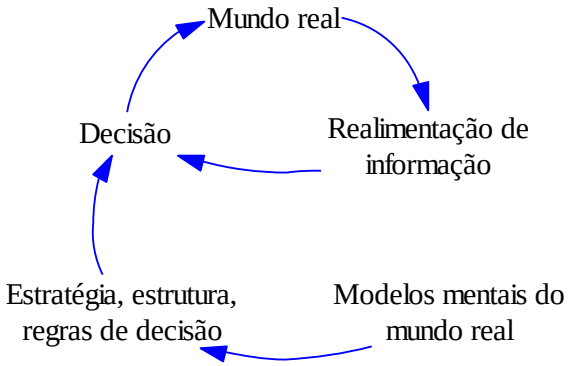


Figura 4 - O aprendizado de malha simples
Fonte: Sterman (2000)

Na malha dupla do aprendizado de Argyris, segundo Sterman (2000), a realimentação da informação sobre o mundo real não apenas altera as decisões dentro do contexto do quadro e das regras de decisão existentes, mas também realimenta para alterar os modelos mentais. Conforme os modelos mentais são alterados, são alteradas as estruturas dos sistemas, criando diferentes regras de decisão e novas estratégias. A mesma informação processada e interpretada por uma regra de decisão diferente resulta em uma decisão diferente. Quando a estrutura do sistema é alterada, o seu padrão de comportamento também é alterado. A dupla malha de aprendizado é apresentada na Figura 5.

Portanto, para Sterman (2000), o desenvolvimento do Pensamento Sistêmico é um processo de aprendizado de malha dupla, no qual se troca a visão reducionista, limitada, de curto prazo e estática do mundo, por uma visão holística, ampla, de longo prazo, dinâmica e então se re-projetam as políticas e instituições de acordo com a nova visão. A visão holística permite aprender mais rápido e eficazmente, tomar decisões consistentes com os próprios interesses e os do sistema em longo prazo e impede que o mesmo resista às intervenções.

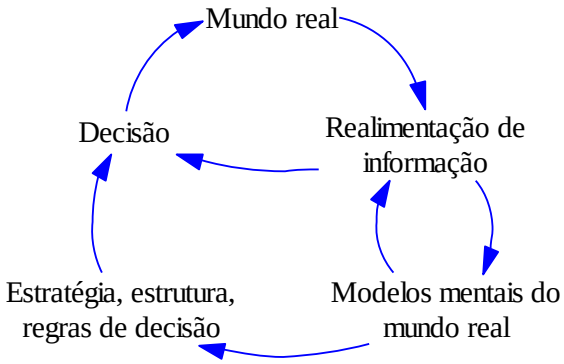


Figura 5 - A malha dupla do aprendizado
Fonte: Sterman (2000)

2.6 PROBLEMA

Idéias pré-concebidas sobre problemas são perigosas e deveriam ser evitadas, pois nem sempre são verdadeiras. A primeira é a de que os problemas existentes podem ser resolvidos; a segunda é a de que, uma vez solucionados, os problemas permanecem resolvidos (PIDD, 2001). Para evitar confusão, Pidd sugere que os problemas sejam divididos em três categorias: enigmas, problemas e confusões.

Um enigma é formado por um conjunto de circunstâncias em que não existe ambigüidade. O enigma é totalmente estruturado, existe uma única definição correta e uma única solução correta.

Um problema é mais complicado que um enigma, pois ele não tem uma única resposta definitivamente conhecida como correta. No caso de um problema pode haver consenso sobre a questão central a ser atacada, mas podem aparecer muitas soluções que sejam válidas.

Uma confusão é mais complicada que um problema. A confusão é um conjunto de circunstâncias nas quais existem ambigüidades. Neste caso, existe uma gama de definições e descrições possíveis do que está acontecendo e pode não haver maneira de saber se existe uma solução. Neste caso existem muitas questões a serem enfrentadas, elas são inter-relacionadas e as inter-relações são normalmente tão importantes quanto as próprias questões.

Existem duas abordagens para se lidar com problemas: a *hard* e a *soft.* A *hard* pressupõe problemas objetivamente estruturados. A *soft* é direcionada a problemas em que predominam aspectos de interpretação subjetiva (PIDD, 2001).

Segundo Pidd (2001), as principais diferenças entre abordagens *hard* e *soft* são as apresentadas na Tabela 1.

	Abordagens *hard*	Abordagens *soft*
Definição do problema	Vista como direta, unitária	Vista como problemática, pluralística
A organização	Assumida tacitamente (taken for granted)	Requer negociação
O modelo	Uma representação do mundo real	Uma forma de gerar debate e *insight* a respeito do mundo real
Resultado	Um produto ou recomendação	Progresso através da aprendizagem

Tabela 1 - Abordagem *hard* versus *soft*
Fonte: Pidd (2001)

As abordagens *soft* são baseadas no pressuposto de que as percepções de mundo das pessoas terão variações e de que as suas preferências podem também diferir. Dessa forma é importante compreender as diferentes maneiras através das quais os diferentes atores interessados podem encarar o tratamento das questões em estudo. Abordagens *soft* vêem a definição do problema como multifacetada. As abordagens *soft* são pluralistas nos seus pressupostos a respeito da estruturação de problemas. Ligado a isso elas devem assumir que a definição de problemas não é direta em muitos casos, mas apenas emergirá através do debate e discussão. Portanto, elas provêem maneiras de auxiliar tal debate (PIDD, 2001).

2.7 MODELO

Segundo Andrade et al. (2006) o Pensamento Sistêmico é em essência o pensamento de modelagem e admite que todos os conceitos, teoria e modelos são limitados e aproximados. Por isso, Pensamento Sistêmico implica em deslocamento da busca da verdade para a busca de descrições aproximadas úteis dentro de um contexto.

Para Pidd (1999, 2001), um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender,

mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade. É uma ferramenta exploratória *ad hoc* para reflexão antes da ação.

Para Coyle (2001), modelo é uma simplificação da realidade projetado para ser uma ferramenta para pensar sobre as questões.

Os modelos tornaram-se amplamente aceitos como um meio de estudar fenômenos complexos, apresentando-se como substitutos para qualquer equipamento ou sistema real. Eles representam uma base para investigações experimentais com baixo custo. Os modelos têm seu valor por melhorarem o entendimento de características obscuras de comportamento mais eficientemente do que poderia ser feito pela observação do sistema real. O conhecimento pode ser obtido mais rapidamente e em condições não observáveis na vida real. Quando se trata de modelos em sistemas sociais é necessário que os modelos sejam dos sistemas e não meramente de componentes isolados (FORRESTER, 1961).

Segundo Forrester (1961), os modelos podem ser classificados como:

- Modelos Físicos ou Abstratos. Modelos físicos são os mais facilmente entendidos. Normalmente são réplicas físicas, quase sempre em escala reduzida, dos objetos em estudo. Os modelos físicos estáticos, como os modelos de arquitetura, auxiliam a visualizar as relações dos planos e espaços. Modelos físicos dinâmicos são usados, como nos túneis de vento, para mostrar as características aerodinâmicas de projetos de aeronaves propostos. Modelos abstratos são aqueles em que símbolos, mais do que artefatos físicos, constituem o modelo. O modelo abstrato é muito mais comum que o modelo físico, mas é muito menos reconhecido pelo que é. O simbolismo usado pode ser uma linguagem escrita ou um processo de pensamento. Uma imagem mental ou uma descrição verbal podem formar um modelo da corporação organizacional e seus processos. Nas empresas se lida constantemente com modelos mentais e verbais. Eles não são a empresa real e não são, necessariamente, corretos. Os modelos são usados para representar o sistema real por pensamentos. Os modelos matemáticos são um subconjunto dos modelos abstratos. Os modelos matemáticos são de uso comum, mas são menos fáceis de compreender do que os modelos físicos e são menos freqüentes no dia a dia do que os modelos verbais. A notação matemática é mais específica que a linguagem verbal. É menos ambígua.

- Modelos Estáticos ou Dinâmicos. Um modelo estático descreve uma relação que não varia no tempo. Um modelo dinâmico lida com interações variantes no tempo.
- Modelos Lineares ou Não Lineares. Os sistemas podem ser lineares ou não lineares. Os modelos que os representam também podem ser similarmente classificados como modelos lineares e não lineares. Em um sistema linear os efeitos externos sobre o sistema são puramente aditivos, sendo válido o princípio da superposição. Quando os sistemas são não lineares, o princípio da superposição não se aplica. Os modelos lineares são adequados em muitos trabalhos em ciências físicas, mas falham ao representar características essenciais de processos industriais e sociais.
- Modelos Estáveis ou Instáveis. Os modelos dinâmicos são subdivididos em estáveis ou instáveis se os sistemas que eles representam são caracterizados como estáveis ou instáveis. Os sistemas estáveis tendem a retornar às condições iniciais depois de sofrerem uma perturbação. Em um sistema instável que parte do repouso, uma perturbação inicial é amplificada ou levada a oscilar.
- Modelos de Estado Estacionário ou Transitório. Diz-se que um padrão representa o estado estacionário quando ele se repete com o tempo, o comportamento em um período é da mesma natureza que em qualquer outro período. Um comportamento no estado transitório descreve mudanças onde o "caráter" do sistema muda com o tempo.
- Modelos Abertos ou Fechados. Nesse caso, a distinção entre eles não é tão clara, pois diferentes graus de abertura podem existir. Os modelos dinâmicos fechados são aqueles sem nenhuma conexão com variáveis exógenas, geradas fora do modelo.

Os modelos de sistemas industriais encontrados na literatura de economia e gerenciamento, são em grande parte, de estado estacionário, estáveis e lineares. Entretanto, para lidarem com problemas práticos, os gerentes devem lutar e vencer os transientes de crescimento e de estado estacionário, das flutuações e das incertezas nos negócios. Os sistemas estáveis podem existir sim, mas em linhas de produto já maduras. O que normalmente se espera na indústria de capital,

commodities, e no sistema econômico como um todo, são sistemas instáveis e restritos pelas suas não-linearidades. Assim como a variável tempo e as taxas de variação no tempo são a essência das atividades gerenciais, um modelo útil deve ser dinâmico e capaz de gerar adequadamente sua própria evolução no tempo (FORRESTER, 1961).

O processo de construção de um modelo faz parte do processo de aprendizagem. Ele é iterativo, ou seja, um processo contínuo de formulação de hipótese, teste, revisão, tanto do modelo formal quanto do mental (STERMAN, 2000).

Há evidências convincentes de que as pessoas, conscientemente ou inconscientemente, selecionam informações para construir definições de problemas. O processo de seleção de informações é freqüentemente guiado por idéias e opiniões já existentes. Pesquisas no domínio da tomada de decisão comportamental demonstraram que as pessoas possuem limitações na capacidade de processar informações. As pessoas mostraram possuir desvios na seleção de informação e empregar um grande número de simplificações heurísticas para processar informações. Esse processo de abstração funciona bem em problemas simples, estáticos e estruturados, mas perde sua eficácia quando se lida com problemas dinâmicos em sistemas complexos. Além disso, os seres humanos tipicamente selecionam informações que confirmam suas crenças ao invés de buscarem informações que possam refutar suas opiniões (VENNIX, 1996).

Conscientizar-se dessas limitações humanas é importante, pois elas influenciam diretamente a construção dos modelos dos sistemas.

2.8 MÉTODOS COM FOCO NO PENSAMENTO SISTÊMICO

Um dos pontos importantes do movimento sistêmico foi a variedade de métodos desenvolvidos com esse foco ao longo dos anos (ANDRADE et al., 2006; MIDGLEY, 2006): Administração Cibernética e Modelo do Sistema Viável, Metodologia *Soft Systems* – SSM, Planejamento Interativo, Abordagens Sistêmicas Críticas e Heurística Sistêmica Crítica, Pensamento Sistêmico e Aprendizagem Organizacional, Dinâmica de Sistemas. Em seguida esses métodos serão

apresentados sucintamente. A Dinâmica de Sistemas será apresentada com mais detalhes no item 2.9.

- Administração Cibernética e Modelo do Sistema Viável (KASPER, 2006; SCHWANINGER, 2004)

A Administração Cibernética é o ramo da Cibernética – a ciência da comunicação e controle dos sistemas dinâmicos de Wiener – que se dedica ao domínio dos sistemas sociais, particularmente das organizações. Nas grandes organizações, enlaces de realimentação adequados são de difícil obtenção devido aos atrasos no tempo e aos vários fatores convergentes operando simultaneamente. Diante de mudanças de grande impacto, a ação administrativa adequada pode não ser possível pela ausência de variedade interna, na forma de repertório de capacidades e estratégias de ação. A Administração Cibernética visa dar conta desse desafio e na sua evolução foi consolidado um modelo denominado Modelo do Sistema Viável (*Viable System Model*) desenvolvido por Stanford Beer. De acordo com esse modelo, um sistema é viável somente se for capaz de responder às mudanças ambientais, mesmo que estas não tenham sido antevistas. Para tanto, os sistemas devem ser capazes de incorporar tanta variedade quanto for necessário, para responder às ameaças à sua sobrevivência. Nesse modelo são necessários cinco subsistemas inter-relacionados para que a organização realize as funções de manutenção de identidade em qualquer contexto. Os subsistemas são os seguintes: Sistema 1- capacidade de regulação das unidades básicas, adaptação autônoma ao meio ambiente, otimização das atividades em curso; Sistema 2 – atenuação e amplificação das oscilações amortizadas e atividades coordenadas via informação e comunicação; Sistema 3 – estabelecimento de ótimo global entre as unidades básicas, alocação de recursos, provenientes de sinergia; Sistema 3* - investigação e validação de informação que flui entre os Sistemas 1-3 e 1-2-3 via atividades de auditoria e monitoramento; Sistema 4 – trata do longo prazo e ambiente externo global, diagnose e modelagem da organização no seu ambiente; Sistema 5 – balanceamento da interação entre 3 e 4 , incorporação de valores supremos, regras e normas – o ethos do sistema.

- Metodologia *Soft Systems* - SSM (KASPER, 2006; MACKNESS, 2006)

A SSM foi desenvolvida por Peter Checkland, na Universidade de Lancaster, na década de 70. A palavra inglesa *soft* denota que se trata de uma metodologia direcionada a problemas relacionados à administração de organizações sociais, onde predominam aspectos de interpretação subjetiva, como alternativa às abordagens tradicionais da administração derivadas da engenharia – *hard,* que pressupõem problemas objetivamente estruturados. Nas situações muito complexas, as metodologias de solução de problemas com abordagem *hard* baseadas na definição de metas e objetivos, são de pouca utilidade, pois nessas situações a própria definição do problema a ser solucionado já é por si só uma tarefa bastante difícil, e é na maioria das vezes a parte essencial do problema a ser enfrentado. As técnicas da SSM são as seguintes: Estágio 1 – investigar quem são as partes interessadas, seus papéis, a cultura e o uso do poder na situação problemática; Estágio 2 – modelagem conceitual dos sistemas de atividades humanas relevantes, com base nas visões do mundo declaradas; Estágio 3 – comparação dos modelos com as percepções da situação real; Estágio 4 – ação para melhoria.

- Planejamento Interativo (ACKOFF, 1981; MIDGLEY, 2006)

Apesar de que algumas das metodologias como o Modelo do Sistema Viável e a Dinâmica de Sistemas envolvam modelagem dos sistemas em estudo, outros metodologistas desviaram o foco da modelagem para a facilitação do diálogo entre os *stakeholders* que tragam diferentes *insights* para sustentar complexas discussões. Um exemplo é Ackoff, cuja metodologia de planejamento interativo busca liberar e aproveitar o conhecimento e a habilidade criativa de todos da organização e dos *stakeholders* para produzir um plano do futuro ideal que a organização possa seguir. Uma idéia é que o plano seja amplo e criativo o suficiente para “dissolver” qualquer desapontamento entre os participantes. A dissolução do problema envolve a idealização ao invés de resolução ou otimização, porque o objetivo é mudar o sistema ou seu ambiente de modo a trazer o sistema mais próximo do estado desejado. O plano pode levar anos para ser implementado, mas oferece um conjunto viável de objetivos de longo prazo. A transformação proposta deve resultar em comprometimento de todos os envolvidos. A abordagem pode ser representada na forma de 3 estágios: Estágio 1 – estabelecimento do quadro do planejamento (todos os papéis da organização devem estar representados); Estágio 2 – geração das propriedades desejadas dos produtos e/ou atividades da

organização; Estágio 3 – produção do plano propriamente dito, no qual todas as seções da organização concordam em como se mover para a frente.

- Abordagens Sistêmicas Críticas e Heurística Sistêmica Crítica (KASPER, 2006; MIDGLEY, 2006)

As Abordagens Sistêmicas Críticas constituem a tendência mais recente nas ciências da administração. Elas sustentam a necessidade de incorporação de conceitos e idéias críticas como “conflitos estruturais”, “relações de poder coercitivas”, “informação distorcida”, “emancipação”, como modo de ampliar e potencializar o leque de aplicações do Pensamento Sistêmico. Um desenvolvimento relevante dessa abordagem é a Heurística Sistêmica Crítica proposta por Ulrich. Quando as pessoas tomam uma decisão, Ulrich questiona sobre quem consultar, que questões incluir no planejamento, como as pessoas justificam racionalmente as fronteiras que usam. Um aspecto importante sobre as fronteiras é que fronteira e julgamento de valor estão intimamente interligados: os valores adotados irão direcionar o desenho das fronteiras que definem o conhecimento aceito como pertinente. Do mesmo modo, o processo de desenhar as fronteiras restringe os valores que possam ser possuídos. A Heurística Sistêmica Crítica introduz conceitos críticos no processo de planejamento, como, por exemplo, a necessidade de confrontar a posição técnica dos planejadores e projetistas com a posição dos grupos sociais que serão afetados direta ou indiretamente com a implantação do projeto. Ulrich oferece uma lista com 12 questões para ser empregada junto às pessoas que serão envolvidas e afetadas pelo plano para interrogar o que o sistema é e como ele deveria ser. As 12 questões cobrem 4 áreas chave relativas à: motivação, controle, *expertise* e legitimidade.

- Pensamento Sistêmico e Aprendizagem Organizacional (KASPER, 2006; SENGE, 2002)

Os desenvolvimentos mais recentes no campo da administração enfatizam o processo de modelagem como forma de estruturar conhecimentos e apoiar a aprendizagem, para que os administradores aprendam as conseqüências do seu modo de enxergar a realidade, ao invés de serem utilizados para fazer previsão do futuro. Esse é o enfoque da abordagem sistêmica para aprendizagem organizacional proposta por Peter Senge. Para Senge, cinco “tecnologias componentes”, ou

também chamadas de cinco “disciplinas” convergem para inovar as organizações que aprendem. Apesar delas se desenvolverem separadamente, cada uma delas é essencial para o sucesso das outras. São elas: Pensamento sistêmico – quadro de referência conceitual, conjunto de ferramentas e conhecimento desenvolvidos para esclarecer padrões como um todo e ajudar a ver como modificá-los efetivamente; Domínio pessoal – disciplina de continuamente esclarecer e aprofundar a visão pessoal, de concentrar as energias, de desenvolver paciência e ver a realidade objetivamente, é o alicerce espiritual da organização que aprende; Modelos mentais – são pressupostos profundamente arraigados, generalizações ou imagens que influenciam a forma de ver o mundo e de agir, o trabalho com os modelos mentais começa ao desenterrar as imagens internas do mundo, levá-las à superfície e mantê-las sob rigorosa análise; Construção de uma visão compartilhada – envolve habilidades de descobrir imagens de futuro compartilhadas que estimulem o compromisso genuíno e o envolvimento, em lugar da mera aceitação; Aprendizagem em equipe – começa pelo diálogo, a capacidade dos membros de deixarem de lado as idéias preconcebidas e participarem de um verdadeiro pensar em conjunto.

2.9 DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas - *System Dynamics* voltada para sistemas organizacionais foi inicialmente aplicada por Jay Forrester e por ele foi chamada de Dinâmica Industrial - *Industrial Dynamics*.

À medida que os trabalhos de Forrester foram sendo conhecidos e utilizados em outras áreas além da industrial, o nome original foi evoluindo: de *Industrial Dynamics* para *Research and Development Dynamics*, *Urban Dynamics*, *Business Dynamics* até chegar em *System Dynamics*, demonstrando assim a sua aplicabilidade a qualquer sistema (RICHARDSON, 1999).

Forrester (1961) apresentou em *Industrial Dynamics* um método para analisar sistemas organizacionais visando seu gerenciamento. São estudados os comportamentos dos sistemas organizacionais para mostrar como a estrutura, as amplificações (em políticas) e os atrasos (nas decisões e ações) estão inter-relacionados e influenciam o crescimento e a estabilidade das organizações. A

Dinâmica de Sistemas integra as diferentes áreas funcionais de gerenciamento como marketing, investimento, pesquisa, recursos humanos, produção, contabilidade, e as reduz a uma base comum, reconhecendo que cada atividade econômica ou corporativa consiste de fluxos de dinheiro, pedidos, materiais, pessoas e equipamentos. Esses cinco fluxos são integrados por um sexto, o da rede de informações. A interação variante no tempo, ou seja, dinâmica, entre todos esses fluxos, torna difícil qualificar o que sejam causa e efeito.

A Dinâmica de Sistemas é baseada em quatro alicerces desenvolvidos durante as décadas de 1940 e 1950 (FORRESTER, 1961): a teoria de sistemas de informação realimentada, o processo de tomada de decisão, a abordagem experimental para análise de sistemas e os computadores digitais.

A abordagem original da Dinâmica de Sistemas é a construção de modelos experimentais de simulação para determinar a influência da organização e política. Esses modelos evolvem das descrições verbais, experiência, observações de campo e tantos dados quantos forem disponíveis (FORRESTER, 1961).

A possibilidade de aplicação da Dinâmica de Sistemas é ampla. Sterman (2000) cita que ela pode ser utilizada em qualquer sistema dinâmico, em quaisquer escalas de tempo e espaço. E para dar idéia do uso amplo, Sterman cita que, no mundo dos negócios e políticas públicas, a Dinâmica de Sistemas pode ser aplicada em indústrias que vão de *Aircraft* a *Zinc* e tratar questões da *Aids* a *Welfare reform*.

2.9.1 Propósito da Dinâmica de Sistemas

Muitas vezes decisões são tomadas e o resultado que se obtém é o aumento da resistência a elas, ou seja, existe uma tendência de que as intervenções sejam frustradas pela resposta do sistema às mesmas. Ou então, o que é sabido há muito tempo, que as pessoas na busca da resolução de um problema o tornam maior. Ou mesmo que as tentativas em estabilizar um sistema podem desestabilizá-lo, pois as decisões tomadas provocam reações de outras pessoas não consideradas no enlace que buscam restaurar o balanço que foi perturbado. Forrester denominou esse último fenômeno de “comportamento contra-intuitivo dos sistemas sociais” (STERMAN, 2000).

A Dinâmica de Sistemas se apresenta como um método para aumentar o aprendizado em sistemas que possuam complexidade dinâmica. O seu uso se justifica pelo seu princípio central, que é o de examinar questões através de múltiplas perspectivas, de expandir os limites dos modelos mentais para considerar as conseqüências no longo prazo e os efeitos colaterais das ações, incluindo implicações ambientais, culturais e morais (STERMAN, 2000).

2.9.2 Conceitos

Em seguida serão apresentados alguns conceitos importantes para o entendimento da Dinâmica de Sistemas.

2.9.2.1 Complexidade Dinâmica

Quando se fala em complexidade pensa-se normalmente em termos de número de componentes em um sistema ou número de combinações possíveis para uma tomada de decisão. Um exemplo de alta complexidade combinatória é o da otimização de programação de vôos e equipes das companhias aéreas, onde o objetivo é encontrar a melhor solução entre as inúmeras possibilidades (STERMAN, 2000, 2001, 2006).

No entanto, quando as interações dos agentes ao longo do tempo, ainda que em sistemas simples que possuam baixa complexidade combinatória, geram comportamentos não intuitivos, está-se diante de problemas de complexidade dinâmica (STERMAN, 2000, 2001, 2006).

Em *Industrial Dynamics,* Forrester (1961) apresenta um amplo trabalho de discussão sobre a complexidade dinâmica. Ele simulou as taxas de vendas e observou as taxas de produção de uma planta da GE em Kentucky (FISHER, 2005) em um modelo do processo de produção e de distribuição. Foi verificado que a taxa de produção nas fábricas variou mais do que a taxa de compra dos clientes.

Outro exemplo similar de comportamento de complexidade dinâmica é apresentado no Jogo da Cerveja (SENGE, 2002; STERMAN, 2000, 2001) onde pequenas alterações no volume de venda de cerveja no varejo, na ponta da cadeia de suprimentos, geraram oscilações que foram se amplificando conforme se passava do atacadista ao produtor.

Essa complexidade dinâmica surge porque os sistemas são (STERMAN, 2000):

- Dinâmicos: As saídas dependem da história temporal das entradas. As mudanças nos sistemas ocorrem em muitas escalas de tempo.
- Fortemente acoplados**:** Os agentes em um sistema interagem fortemente entre si.
- Governados por realimentações: Por causa do acoplamento entre os agentes, as ações realimentam nelas mesmas. Assim, quando “A” toma ações que alteram o estado do sistema, “B” é estimulado a agir fazendo surgir novas situações que irão influenciar as próximas decisões de “A”.
- Não lineares: O efeito raramente é proporcional à causa. O que ocorre localmente (próximo ao ponto de operação) normalmente não se aplica em regiões distantes (outros estados do sistema).
- Dependentes da trajetória: A tomada de um caminho implica na exclusão dos demais e determina onde se irá chegar. Muitas ações são irreversíveis.
- Auto-organizáveis: As dinâmicas dos sistemas surgem de modo espontâneo a partir da estrutura interna. Normalmente perturbações pequenas e aleatórias são amplificadas e moldadas por estruturas de realimentação, gerando padrões no tempo e espaço e criando dependência da trajetória.
- Adaptativos: As capacidades e regras de decisão dos agentes em sistemas complexos mudam ao longo do tempo. A adaptação também ocorre conforme as pessoas aprendem com a experiência, especialmente quando aprendem novas maneiras de alcançar os objetivos diante dos obstáculos.
- Contra-intuitivos: Em sistemas complexos, causa e efeito estão distantes no tempo e no espaço, o que se contrapõe ao costume de se procurar causas próximas aos eventos para buscar explicações. A atenção é normalmente sobre os efeitos e não sobre as causas.
- Resistentes às intervenções**:** A resistência às intervenções surge porque a complexidade do mundo real sobrepuja o entendimento humano. Soluções

consideradas óbvias falham ou pioram a situação. Para se entender as fontes de resistência, deve-se entender a complexidade dos sistemas e os modelos mentais (este conceito será apresentado no item 2.9.2.2) usados para tomar decisões.

- Caracterizados por *trade-offs*: Atrasos no tempo em canais de realimentação significam que a resposta no longo prazo é diferente da resposta no curto prazo. Políticas de alta alavancagem geralmente causam comportamento pior - antes do - melhor, ao passo que políticas de baixa alavancagem geralmente geram melhorias transitórias antes que o problema se intensifique.

Quando os problemas são bem estruturados e com baixo grau de complexidade dinâmica indica-se serem tratados por alguma técnica analítica ou *hard* (ANDRADE et al., 2006).

2.9.2.2 Modelos Mentais

Diante das características que geram complexidade dinâmica, surge naturalmente uma pergunta – qual é a abordagem comum para encarar e resolver tais problemas? Isso dependerá dos modelos mentais das pessoas que deverão resolver os problemas.

Para Senge (2002), modelos mentais são pressupostos profundamente arraigados, generalizações ou mesmo imagens que influenciam nossa forma de ver o mundo e agir.

Para Andrade et al. (2006), modelos mentais são crenças, opiniões, interesses, pressupostos, valores, regras de comportamento, teorias a respeito da realidade e histórias que carregamos em nossas mentes a respeito de nós mesmos, de outras pessoas e do mundo em geral.

No âmbito das organizações, modelos mentais são os modelos conceituais que cada membro da equipe traz em sua mente para explicar o modo como o negócio opera (MORECROFT, 1994).

Sterman (2000) faz a definição de modelos mentais dos sistemas como sendo as crenças a respeito das redes de causa e efeito que descrevem sua operação, dentro

dos limites do modelo (quais variáveis estão incluídas e quais estão excluídas) e do horizonte de tempo considerado relevante.

Após uma revisão desse conceito com a comunidade que trabalha com Dinâmica de Sistemas, Doyle e Ford (1999) sugeriram uma definição para modelo mental, que após ser criticada por Lane (1999) resultou na seguinte: “Um modelo mental em Dinâmica de Sistemas é uma relativamente permanente e acessível, mas limitada representação conceitual interna de um sistema externo (histórico, existente ou projetado) cuja estrutura é análoga à estrutura percebida daquele sistema” (DOYLE; FORD, 1999).

Entende-se, pois, que as pessoas criam modelos mentais do seu ambiente e a partir daí baseiam seu comportamento nesses modelos mentais, criando situações que são subseqüentemente interpretadas como realidade. Disso decorre que, quanto maiores são as discrepâncias entre os modelos mentais dos participantes de uma organização, maior é a falta de visão partilhada, maior é a divergência entre comportamentos e maior é a dispersão da energia organizacional. No limite, isso impede a operação efetiva da organização, porque induz à falta de cooperação (VENNIX, 1996).

Para se fazer um trabalho com os modelos mentais, Senge (2002) sugere que se vire o espelho para dentro. As imagens internas que se tem do mundo devem ser desenterradas, levadas à superfície e mantidas sob rigorosa análise. O trabalho com modelos mentais inclui também a capacidade de realizar conversas ricas em aprendizados, que equilibrem indagação e argumentação, em que as pessoas exponham de forma eficaz seus próprios pensamentos e estejam abertas às influências dos outros.

Um ponto negativo dos modelos mentais é que eles são limitados e inconsistentes e, portanto, não confiáveis. A heurística usada para julgar relacionamentos causais leva a mapas cognitivos que ignoram os elementos da complexidade dinâmica, como as realimentações, os atrasos no tempo e outros mais (STERMAN, 2000, 2001).

As múltiplas realimentações em um sistema complexo levam a muitas correlações entre as variáveis, confundindo o trabalho de julgamento das causas. Os seres humanos são, no geral, pobres juízes de correlações. As pessoas detectam correlações positivas, lineares, entre as variáveis, se existirem muitos experimentos e se a saída da realimentação é suficientemente acurada, mas, encontram

dificuldades em detectar a presença de erros randômicos, não linearidades, correlações negativas, e geralmente nunca descobrem o verdadeiro relacionamento (BREHMER, 1980, *In one word: Not from experience.* Apud Sterman, 2000, p. 28).

Outra falha que normalmente ocorre nos modelos mentais é a de que, ao julgar causalidade, normalmente se considera a proximidade de tempo e espaço entre a causa e o efeito. Mas, em sistemas complexos, a causa e o efeito estão na maior parte das vezes, distantes no tempo e espaço, e as conseqüências atrasadas e distantes das ações, diferentes e menos salientes que seus efeitos próximos, são simplesmente desconsideradas (STERMAN, 2000, 2001).

O próprio ato de medir para analisar as causas dos problemas, introduz distorções, atrasos, desvios, erros e outras imperfeições, algumas conhecidas e outras desconhecidas ou impossíveis de serem conhecidas (STERMAN, 2000).

Além do mais, os seres humanos não são apenas racionais, medindo friamente as possibilidades e julgando as probabilidades. Emoções, reflexos, motivações inconscientes, e outros fatores não racionais, possuem um grande papel nos seus julgamentos e comportamentos (STERMAN, 2000).

Enfim, são essas informações imperfeitas e limitadas que têm que ser usadas para entender os efeitos das próprias decisões, ajustá-las alinhando o estado do sistema com seus objetivos (malha simples do aprendizado), revisar os modelos mentais e redesenhar o sistema (malha dupla do aprendizado) (STERMAN, 2000).

Outro ponto importante a considerar é a racionalidade limitada que afeta todos os contextos de decisão. Ela é particularmente aguda em sistemas dinâmicos. Essa disfunção surge devido à má percepção das realimentações (*feedbacks*). Normalmente as pessoas adotam uma visão baseada em eventos, de malha aberta da causalidade, ignoram as realimentações dos processos, falham em apreciar os atrasos de tempo entre ação e resposta e no reporte de uma informação, não entendem os estoques e fluxos e são insensíveis às não linearidades que podem alterar a intensidade de diferentes malhas de realimentação conforme o sistema evolve (STERMAN, 2000; VENNIX, 1999).

Diante desses vários motivos citados que tornam os modelos mentais não totalmente confiáveis, cresce em importância o trabalho em equipe quando este é direcionado para a obtenção de uma visão comum de uma situação ou problema.

2.9.2.3 Relacionamentos Causais

A linguagem sistêmica é muito simples. Basicamente ela utiliza símbolos para representar as variáveis de um sistema (partes) e os relacionamentos entre elas (ANDRADE et al., 2006).

A simbologia utilizada na linguagem sistêmica é apresentada por vários autores: Andrade et al. (2006), Roberts et al. (1983), Vennix (1996), Sterman (2000).

Convenciona-se que uma relação entre duas variáveis seja representada por meio de uma seta: considera-se que a variável do final da seta possua um efeito causal sobre a variável da ponta da seta. É feita também uma distinção entre dois tipos possíveis de relacionamento causal: o positivo e o negativo. Um sinal de "+" ou um sinal de "-" sobre a ponta da seta indicam se o relacionamento é positivo ou negativo.

Um relacionamento causal positivo indica que ambas as variáveis irão mudar no mesmo sentido. A declaração de que mais carros levarão a maior poluição do ar, pode ser colocada da seguinte maneira: quanto maior o número de carros, maior o nível de poluição do ar. Ou do mesmo modo: quanto menor o número de carros, menor o nível de poluição do ar (VENNIX, 1996). Esse relacionamento está representado na parte superior da Figura 6.

Já um relacionamento causal negativo indica que ambas as variáveis mudam em sentidos opostos. A seguinte declaração é um exemplo: quanto maior o número de carros, menor o número de passageiros de trem. Do mesmo modo: quanto menor o número de carros, maior o número de passageiros de trem (VENNIX, 1996). A parte inferior da Figura 6 apresenta esse relacionamento.

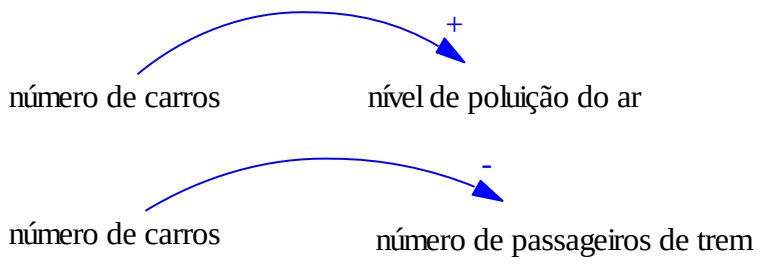


Figura 6 - Exemplo de relacionamento causal Positivo e Negativo
Fonte: Vennix (1996).

2.9.2.4 Realimentações (*Feedbacks*)

As realimentações são elementos importantes na geração da dinâmica dos sistemas.

Uma tendência que os seres humanos possuem é de interpretar as experiências como uma série de eventos: “os estoques estão muito altos”, “as vendas caíram esse mês”, etc. Aprende-se que todo evento possui uma causa que, por sua vez, é efeito de uma causa anterior. E assim as explanações por níveis de eventos podem se estender indefinidamente: “Os estoques estão muito altos porque as vendas inesperadamente caíram. As vendas caíram porque os concorrentes baixaram os preços. Os concorrentes baixaram os preços porque ...” (STERMAN, 2000).

Na indústria é muito comum o uso dos “Cinco Por Quê” que é um exemplo de uma técnica orientada por eventos: Por que *A* aconteceu? Porque *B* ocorreu. Por que *B* aconteceu? Porque *C* ocorreu - e assim se faz cinco vezes a mesma pergunta. Considera-se que, cada vez mais, se aproxima da verdadeira causa.

A visão orientada por eventos implica na abordagem orientada por eventos para a resolução de problemas. Mas, segundo Sterman (2000, 2001), essa é uma das causas de resistência do sistema às ações e intervenções que são implantadas.

Para entender melhor o que isso significa, considere a Figura 7 que apresenta como é o processo de resolução de problemas quando a visão atuante é a orientada por eventos. A situação real é comparada com a meta desejada. Quando existe uma diferença entre a meta desejada e a situação real, existe um problema. Várias opções sobre como corrigir o problema são então analisadas. Em seguida se decide pela melhor opção e a ação ou intervenção é implementada. Ao final se obtém o resultado, avalia-se a eficácia e se dá o problema como resolvido.

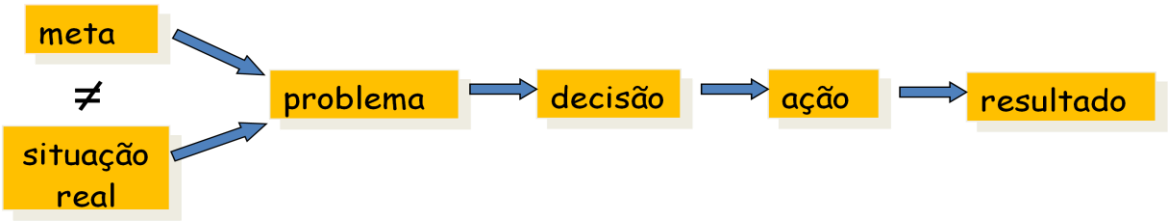


Figura 7 - Resolução de problema segundo a visão orientada por eventos
Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

Os sistemas reais, entretanto, reagem às intervenções. Existe uma realimentação tal que os resultados das ações de hoje definirão as situações futuras. Essas novas situações alterarão as avaliações sobre o problema e as decisões que serão tomadas amanhã (STERMAN, 2000, 2001). Essa característica circular é apresentada na Figura 8.

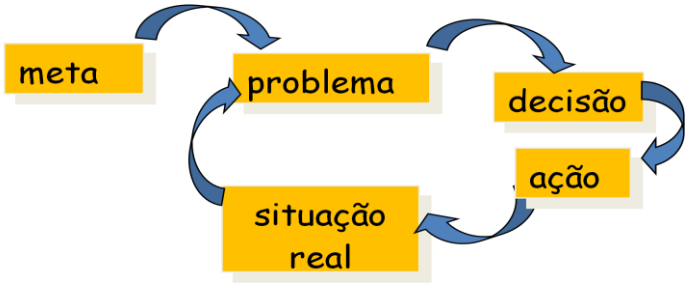


Figura 8 - Resolução de problema segundo a visão por Realimentações - *Feedbacks*
Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

Seguindo um pouco mais, se verifica que as ações, além de resultarem no efeito desejado, também geram efeitos colaterais não previstos que influenciarão o ambiente. Fora isso, outras pessoas buscando atingir seus próprios objetivos, também reagem para restaurar o equilíbrio que foi perturbado (STERMAN, 2000, 2001). A Figura 9 apresenta essas outras realimentações.

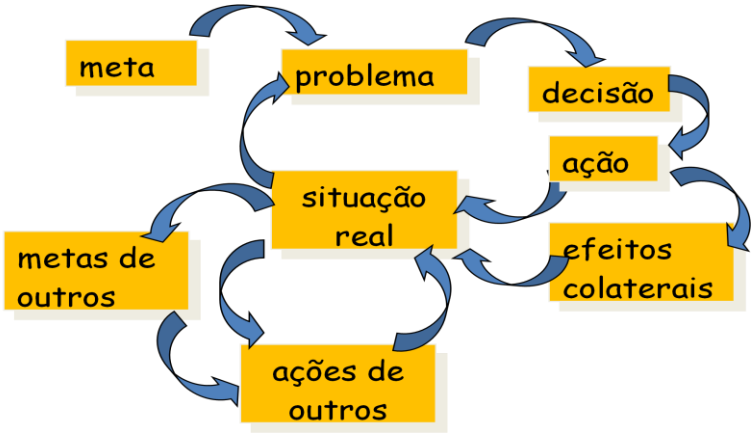


Figura 9 - Resolução de problema segundo a visão por Realimentações – *Feedbacks,* incluindo efeitos colaterais e ações dos outros
Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

O que acontece em um ambiente real é que a resistência às ações ou intervenções surge porque todo esse conjunto de realimentações que operam no sistema não é considerado (STERMAN, 2000, 2001).

Aliás, sempre se fala em efeitos colaterais como se eles fossem características da realidade, embora eles não o sejam. Na realidade, segundo Sterman (2000) não existem efeitos colaterais, existem apenas efeitos. Os efeitos esperados são chamados de efeitos intencionais. Os efeitos que não são antecipados, os efeitos que realimentam atrapalhando a política que se pretende, que prejudicaram o sistema são chamados de efeitos colaterais. Efeitos colaterais, entretanto, não são aspectos da realidade, mas sinais que o entendimento que se possui do sistema é limitado e falho.

Muito da arte da modelagem da Dinâmica de Sistemas baseia-se na descoberta e representação das malhas de realimentação e outros elementos de complexidade que determinam as dinâmicas de um sistema (STERMAN, 2001).

Voltando às realimentações, tem-se que a dinâmica dos sistemas surge da interação de apenas dois tipos de malhas de realimentação existentes: a positiva e a negativa.

As malhas de realimentação positivas são processos que geram seu próprio crescimento. Elas tendem a reforçar ou amplificar o que quer que esteja acontecendo no sistema, e por isso são chamadas de auto-reforçadoras ou auto-catalíticas. Exemplos de malhas positivas (STERMAN, 2000, 2001): a corrida armamentista, a guerra de preços, os fenômenos empresariais de crescimento como a Microsoft e a Intel.

A Figura 10 apresenta uma malha de realimentação positiva. O símbolo da bola de neve rolando montanha abaixo significa a amplificação do que acontece no sistema.

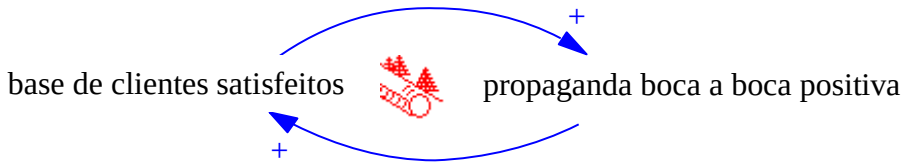


Figura 10 - Exemplo de malha de realimentação positiva
Fonte: Adaptado de Senge (2002)

Já as malhas negativas agem contrariamente, opõem-se às mudanças. Elas descrevem processos que tendem a ser auto-limitadores, auto-corretores, que criam balanço e equilíbrio. Exemplo de malha negativa (STERMAN, 2000, 2001): quanto menor a quantidade de nicotina contido no cigarro, mais cigarros o fumante consome para manter os níveis de nicotina de que necessita.

A Figura 11 apresenta uma malha de realimentação negativa. O símbolo da balança significa o efeito de equilíbrio do que acontece no sistema.

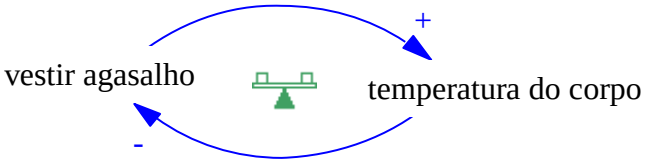


Figura 11 - Exemplo de malha de realimentação negativa
Fonte: Adaptado de Senge (2002)

Todo sistema, não importa o quão complexo seja, consiste de redes de malhas de realimentação dos tipos positiva e negativa, e toda dinâmica apresentada pelo sistema surge da interação dessas malhas umas com as outras (STERMAN, 2000).
A prática do pensamento sistêmico começa com esse conceito das malhas de realimentação, que indicam como as ações podem reforçar ou neutralizar umas às outras. É permitido assim aprender a reconhecer os tipos de estruturas continuamente recorrentes (SENGE, 2002).

2.9.2.5 Atrasos (*Delays*)

Assim como as realimentações, os atrasos no tempo são elementos comuns nos sistemas dinâmicos.
As relações de causa e efeito podem gerar variações instantâneas ou com atrasos. Na linguagem sistêmica, as setas contínuas representam relações instantâneas, as setas com dois traços perpendiculares representam relações com atraso (ANDRADE et al. 2006) . Ambas estão indicadas na Figura 12.

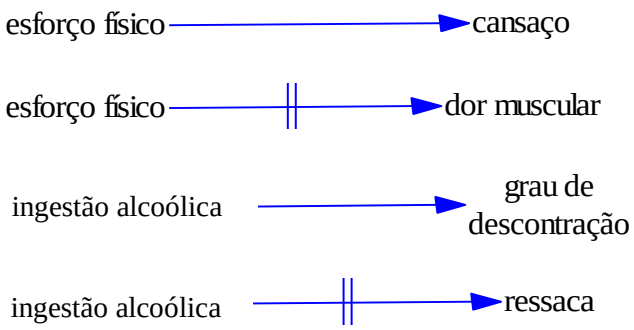


Figura 12 - Relações de causa e efeito instantâneas e com atraso.
Fonte: Andrade et al. (2006)

Na realidade, os atrasos existem em todos os fluxos, mas representá-los sempre levaria à inserção de muitos detalhes nos modelos. Os atrasos considerados como muito pequenos não são identificados como tal quando se julga que os seus efeitos no comportamento do sistema sejam negligenciáveis. Do contrário, eles devem ser indicados como atrasos (FORRESTER, 1961).

Quando os atrasos se dão em malhas de realimentação negativas são geradas instabilidades aumentando a tendência do sistema em oscilar (STERMAN, 2000, 2001).

Quando os atrasos ocorrem em um processo de tomada de decisão os efeitos no estado do sistema são particularmente causadores de problemas. Como conseqüência do atraso, os agentes do sistema continuam a intervir para corrigir as aparentes discrepâncias entre a situação atual e a desejada, indo muito além do necessário para restaurar o equilíbrio, causando picos na saída (*overshoot*) e instabilidade (STERMAN, 2000, 2001).

A oscilação e a instabilidade em um sistema reduzem a habilidade em controlá-lo, tornam confusa a identificação das variáveis críticas, dificultam o discernimento entre causa e efeito, além de diminuírem a taxa de aprendizado (STERMAN, 2000).

Enfim, os atrasos reduzem a habilidade de acumular experiências, testar hipóteses e aprender. Em 1988 um estudo de Schneirderman (SCHNEIRDERMAN, A. *Setting Quality Goals*. Apud Sterman, 2001, p.13) estimou a meia vida da melhoria em várias empresas. Meia vida da melhoria é o tempo necessário para cortar os defeitos gerados por um processo pela metade. Como resultado do estudo, verificou-se que as meias vidas da melhoria variaram de poucos meses (redução do erro do operador em um posto de trabalho) a muitos anos (desenvolvimento de produtos).

Os atrasos nas empresas levam a uma diminuição na taxa de aprendizado porque os responsáveis por uma ação, intervenção ou política não conseguem ver os resultados alcançados. Se os tempos de demora são muito longos, muito provavelmente essas pessoas, devido à grande movimentação nas empresas, não mais estarão nos seus cargos e locais de trabalho quando os resultados de suas ações começarem a aparecer.

Churchman (1971) dá uma sugestão para que se diminuam os atrasos. Diz que, como nunca se tem certeza de que um dado conjunto de planos ou aspirações chegará a se realizar, é necessária alguma coisa a mais além deles. É necessário estabelecer, de maneira explícita, as medidas que se deseja tomar e também

aquelas que se é capaz de tomar, quando os planos falharem. Diz esse autor que este é, talvez, um dos aspectos mais descuidados nos projetos e planejamentos. Os planejadores são freqüentemente tão otimistas em relação ao seu sucesso que quando acontece um fracasso, não estão em condições de tomar as medidas necessárias porque nunca pensaram sobre elas. Em outras palavras, quando se adia por um tempo demasiadamente longo pensar a respeito de alguma coisa, pode não ser possível fazer isso adequadamente no momento necessário.

Como as realimentações e os atrasos ocorrem constantemente nos sistemas reais, são eles elementos muito utilizados na modelagem desses sistemas, o que será apresentado mais adiante neste documento.

2.9.2.6 Estrutura

Um princípio fundamental dos sistemas dinâmicos diz que a estrutura do sistema motiva o seu comportamento (STERMAN, 2000, 2001).

Em sistemas sociais, pessoas diferentes colocadas na mesma estrutura tendem a comportar-se de maneira similar. As pessoas, entretanto, têm a forte tendência de atribuir o comportamento dos outros ao seu caráter e não à situação. A tendência em culpar outras pessoas, e não o sistema, é tão forte que foi chamada pelos psicólogos de "*fundamental attribution error*". Essa atribuição de comportamento aos indivíduos, e não ao sistema, desvia a atenção que seria dada aos pontos de alta alavancagem, onde o re-projeto do sistema pode levar a efeitos benéficos e sustentáveis de desempenho. Quando se atribui comportamentos mais às pessoas do que à estrutura do sistema, o foco do gerenciamento torna-se procurar bodes expiatórios e culpados, mais do que projetar organizações nas quais pessoas comuns possam atingir resultados extraordinários (STERMAN, 2000, 2001).

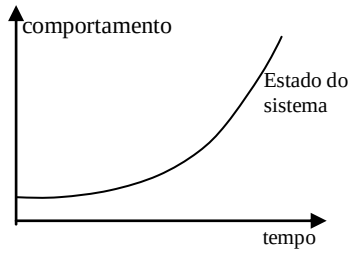
A estrutura consiste das malhas de realimentação, dos estoques e fluxos, das não linearidades criadas pela interação da estrutura física e institucional do sistema com os processos de tomada de decisão dos agentes que atuam dentro dele (STERMAN, 2000).

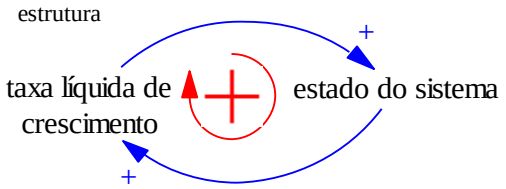
Muitos estudiosos em sistemas dinâmicos (STERMAN, 2000; SENGE, 2002) citam que existe uma relação entre o comportamento de um sistema dinâmico e sua

estrutura, ou seja, os modos básicos de comportamento estão identificados com a estrutura de realimentação que os gera, assim: o crescimento é criado a partir de uma malha de realimentação positiva; o comportamento busca de meta – *goal seeking* - é gerado por uma malha de realimentação negativa; a oscilação é gerada por uma malha de realimentação negativa com um atraso. Alguns comportamentos mais complexos como a curva em S, *overshoot* e colapso, crescimento e *overshoot*, surgem das interações não lineares dessas estruturas básicas.

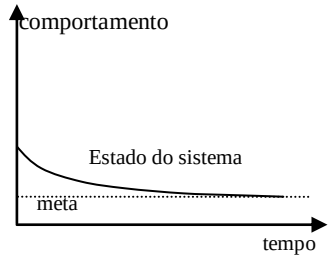
A Figura 13 apresenta os modos de comportamentos básicos e as estruturas que os geram.

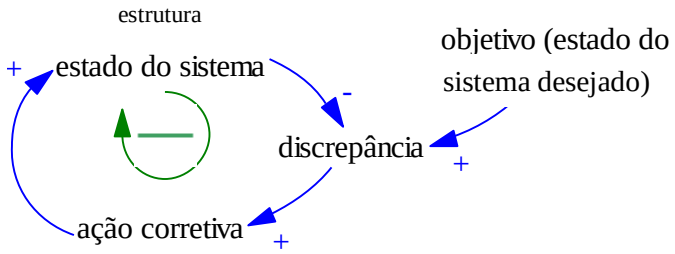
Crescimento exponencial



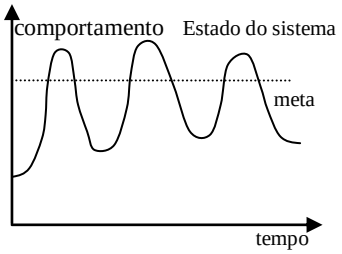


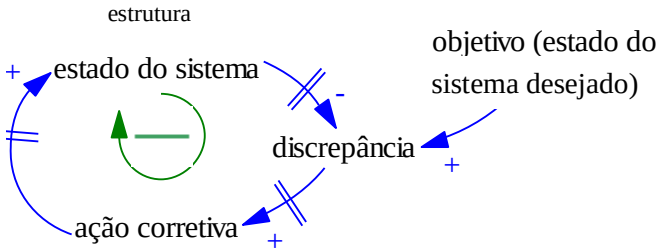
Busca de Meta



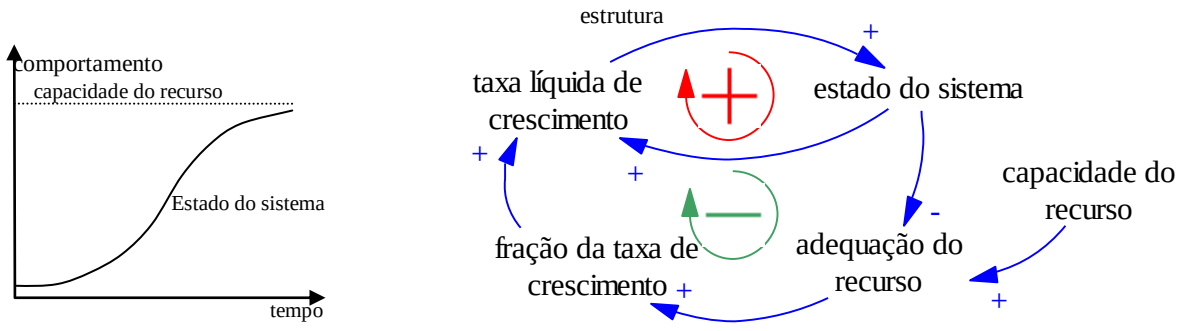


Oscilação

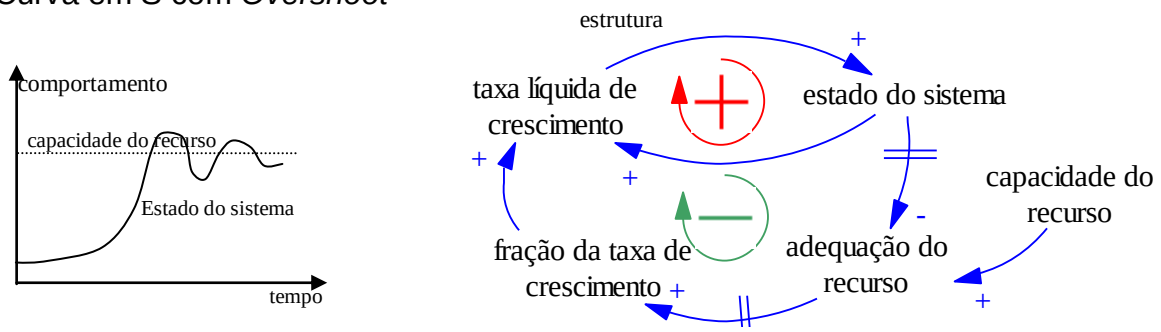




Curva em S



Curva em S com *Overshoot*



Overshoot e Colapso

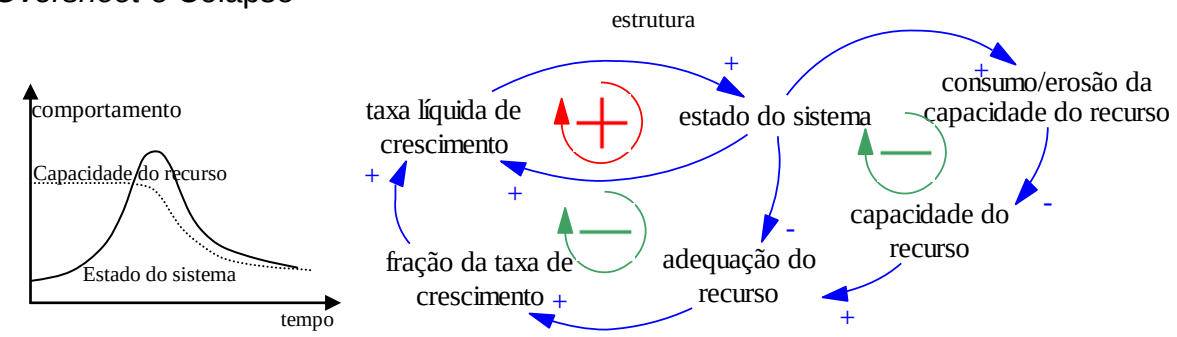


Figura 13 - Modos básicos de comportamento em Dinâmica de Sistemas
Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

2.9.2.7 Arquétipos

As demonstrações de *insights* sistêmicos têm sido um dos objetivos da Dinâmica de Sistemas desde a sua criação por Forrester e, para tanto, as estruturas genéricas têm sido geralmente utilizadas para associar a estrutura do sistema ao seu comportamento ao longo do tempo (WOLSTENHOLME, 2003).

Essas estruturas genéricas foram chamadas de arquétipos de sistemas. Os arquétipos de sistemas foram introduzidos como um modo formal de classificar estruturas responsáveis por padrões de comportamento ao longo do tempo, particularmente, os padrões contra-intuitivos (SENGE, 2002; WOLSTENHOLME, 2003). Essas estruturas consistem de ações intencionais, reações não intencionais e atrasos no tempo.

Os vários arquétipos, a estrutura que os gera e exemplos de cada um, são apresentados nos textos sobre Dinâmica de Sistemas (SENGE, 2002; WOLSTENHOLME, 2003, 2004).

Wolstenholme (2003, 2004) sugere que todos os arquétipos normalmente presentes na literatura sejam vistos como semi-genéricos pois, na realidade, apenas um conjunto reduzido de quatro deles forma as estruturas básicas totalmente genéricas, constituídas pelas quatro maneiras de ordenar um par de malhas de realimentação positiva e negativa. Todos os outros são gerados através desses quatro.

Para esclarecer o conceito dos arquétipos, Wolstenholme (2003, 2004) sobrepõe a eles a idéia de fronteiras entre os setores organizacionais, o que melhora a idéia de quais são as conseqüências intencionais e as não intencionais, e cita que as características de um arquétipo básico são as seguintes:

- É composto por uma malha de realimentação de conseqüência intencional que resulta de uma ação iniciada em um setor de uma organização;
- Contém uma malha de realimentação de conseqüências não intencionais, resultante da uma reação externa ou vinda de outro setor da organização;
- Há um atraso antes que a conseqüência não intencional se manifeste;
- Há uma fronteira organizacional que esconde as conseqüências não intencionais daqueles que esperam pela conseqüência intencional;
- Para cada arquétipo problema há um arquétipo solução.

O problema causado por um arquétipo é aquele cujo comportamento, ao longo do tempo, é diferente daquele pretendido pelas pessoas que criam a malha intencional. As reações geradas podem ser provenientes das próprias pessoas responsáveis pela ação original (talvez pela impaciência causada pela demora do efeito) ou as reações podem ser geradas por outras causas naturais, tais como, outros indivíduos,

setores da organização, ou mesmo de fontes externas (WOLSTENHOLME, 2003, 2004).

Ao explicar os arquétipos como um sistema de duas malhas, Wolstenholme (2003, 2004) enfatiza a mentalidade das fronteiras, dos silos organizacionais porque, apesar da Dinâmica de Sistemas fazer distinção entre variáveis exógenas e endógenas para explicar comportamentos organizacionais ao longo do tempo, as fronteiras entre os setores não estão explicitamente presentes nos conceitos originais da Dinâmica de Sistemas, e são exatamente elas que lutam por medidas de desempenho local ao invés de soluções sistêmicas.

A idéia dos arquétipos problema como um sistema de duas malhas leva à idéia de um arquétipo solução de malha fechada para minimizar o efeito dos efeitos colaterais. A chave para identificar o arquétipo solução está no entendimento tanto da magnitude do atraso quanto da natureza da fronteira organizacional presente. A solução requer que os agentes do sistema, quando colocarem em prática uma nova ação, estejam atentos para remover ou tornarem mais transparente as fronteiras organizacionais que mascaram o efeito colateral (WOLSTENHOLME, 2003, 2004). A Figura 14 apresenta o arquétipo problema como malha dupla e o arquétipo solução.

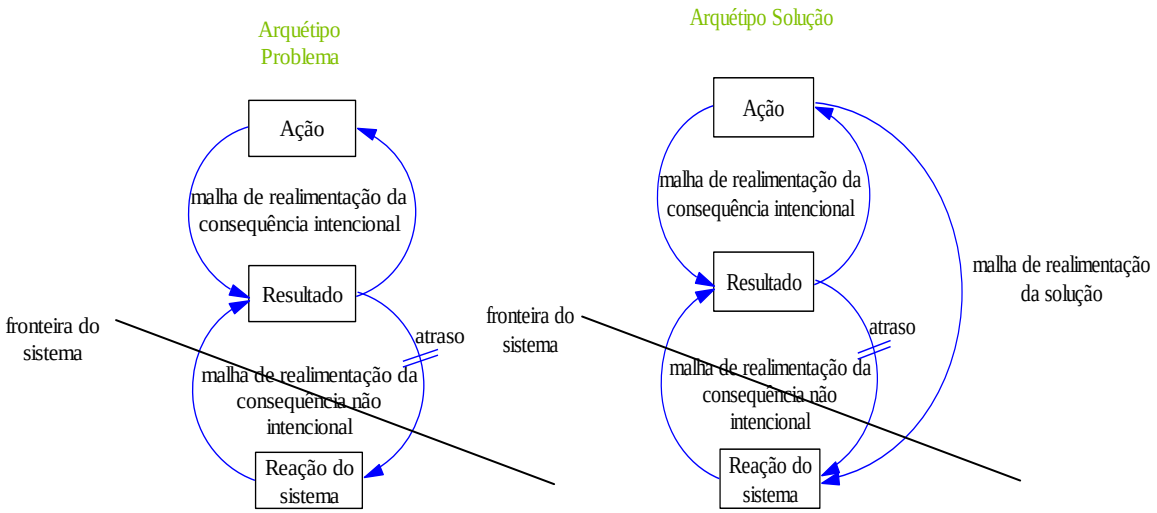


Figura 14 - Estrutura de um arquétipo de duas malhas totalmente genérico e o arquétipo solução.
Fonte: Wolstenholme (2003, 2004)

Um arquétipo de muito interesse neste trabalho, pois a verificação de sua existência será realizada no modelo DUMAIC, é o chamado *Shifting the Burden*, que em português recebe o nome de “Transferência de Responsabilidade”.

No arquétipo “Transferência de Responsabilidade”, uma malha de realimentação negativa (de balanço) é aplicada para controlar um problema ou sintoma de problema, ao invés de se tentar implementar a solução mais fundamental. A solução fundamental pode ser conhecida, mas é mais demorada ou difícil de ser implementada ou pode ser desconhecida por alguma limitação mental dos envolvidos no problema. O efeito obtido pelo controle aplicado enfraquece a busca da implantação da solução fundamental e contribui para que o problema continue persistindo (SENGE, 2002; WOLSTENHOLME, 2003, 2004). Este arquétipo está representado na Figura 15.

Nesse caso uma solução holística por realimentação de reforço poderia ser introduzida ou um *link* de solução entre o problema e a solução fundamental poderia tomar o lugar da malha de realimentação negativa inicial.

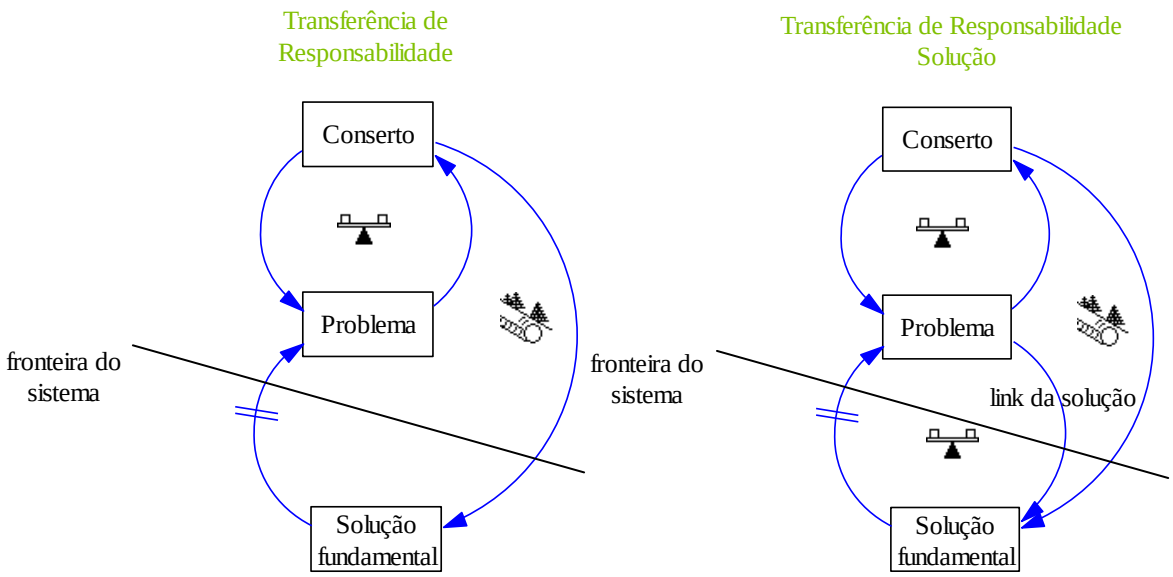


Figura 15 - Estrutura do arquétipo “Transferência de Responsabilidade”
Fonte: Wolstenholme (2003, 2004)

2.9.2.8 Diagrama de Enlace Causal

Como visto anteriormente, os nossos modelos mentais podem ser falhos no julgamento de relacionamentos causais na presença da complexidade dinâmica. Algumas ferramentas foram criadas para nos auxiliar.

Geralmente os relacionamentos internos são os fatores mais críticos de capacidade de geração de valor nas organizações. Os sistemas de gestão da qualidade, entretanto, mesmo os modelos de excelência, não alcançaram ainda *insight* em um nível satisfatório sobre esses relacionamentos críticos e sobre os processos de geração de valor que ocorrem dentro deles (CONTI, 2006).

O Diagrama de Enlace Causal (*Causal Loop Diagram – CLD*) é uma ferramenta utilizada para mapeamento, e é uma maneira poderosa de expressar, concisamente, declarações causais e de identificar realimentações nos processos (VENNIX, 1996).

O Diagrama de Enlace Causal captura hipóteses sobre as causas da dinâmica, explicita e captura os modelos mentais dos indivíduos e comunica realimentações importantes que se acredita serem responsáveis por um problema (STERMAN, 2000).

Algumas vantagens do Diagrama de Enlace Causal são citadas por Coyle (2000):

1. Ele coloca em um pedaço de papel uma visão de um problema que necessitaria de várias páginas para ser explicado textualmente;
2. Pode ser usado como uma agenda eficaz para discussão do problema;
3. O seu estudo mostra padrões de realimentação (*feedbacks)* e isso pode ser útil, mesmo que a dinâmica não possa ser prevista;
4. Pode servir de base para uma simulação.

Os relacionamentos indicados na Figura 6 indicam causalidades de uma via, mas, um dos conceitos centrais da Dinâmica de Sistemas, são as realimentações. Estas são representadas conforme apresentado anteriormente nas Figuras 10 e 11 deste documento.

Quando são representadas realimentações, também se indica no centro das mesmas se elas são realimentações positivas ou negativas.

Um modo de determinar a polaridade de uma malha de realimentação é verificar como uma mudança em uma das variáveis se propaga ao longo da malha: se a realimentação reforça a mudança original, a malha de realimentação é positiva; se, por outro lado, a realimentação se opõe à mudança original, a malha é negativa.

Algumas vezes se prefere usar outro modo mais rápido de identificação da polaridade da malha de realimentação que se resume em contar o número de relacionamentos negativos na malha: se for ímpar, a malha de realimentação é

negativa; se for par, é positiva. Esse modo, no entanto, fica difícil de ser realizado quando o sistema contém muitas variáveis e relacionamentos.

A representação de um atraso (*delay*) no Diagrama de Enlace Causal é feita pelos dois pequenos segmentos de linha paralelos que cortam a seta que interliga duas variáveis. A Figura 16 apresenta um exemplo contendo um atraso.

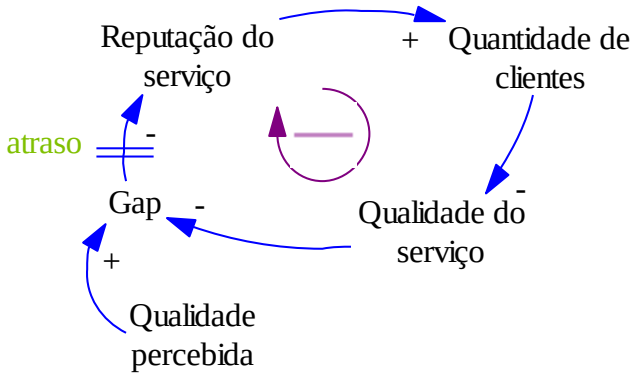


Figura 16 - Representação de atraso em Diagrama de Enlace Causal

2.10 MODELAGEM DE SISTEMAS DINÂMICOS

Segundo Forrester, a tarefa do projeto é a mais importante, mas normalmente é a que ganha menos atenção. Muitos gerentes, especialmente os seniores, gastam muito mais tempo agindo como pilotos – tomando decisões, controlando subordinados – do que criando uma estrutura organizacional consistente com suas visões e valores e que possa ser gerenciada bem por pessoas comuns (FORRESTER, 1965).

O real valor do processo de modelagem diz respeito ao modelo que é usado para suportar re-projetos organizacionais. Para que o processo de modelagem seja eficaz, ele deve ser focado nas necessidades das empresas, com o objetivo de ajudar as empresas, jamais de beneficiar o modelador (STERMAN, 2000).

Tanto isso é verdade que a probabilidade das equipes das empresas utilizarem os modelos é maior quando é claro para os membros das equipes que suas idéias e conhecimento são representados no modelo, e quando o modelo não aparenta restringir o pensamento da equipe (MORECROFT, 1994).

Pidd (1999) sugere seis princípios simples para modelagem:

1. Modele simples, pense complicado
2. Seja parcimonioso, comece pequeno e acrescente
3. Divida para conquistar, evite megamodelos
4. Use metáforas, analogias, e similaridades
5. Não se apaixone pelos dados
6. Construir um modelo pode fazê-lo sentir-se atrapalhado (não é linear)

A modelagem em Dinâmica de Sistemas não é um processo com uma seqüência linear de etapas. As iterações podem ocorrer de qualquer etapa para qualquer outra.
Sterman (2000) sugere as seguintes etapas para a modelagem de sistemas dinâmicos: Articulação do problema; Formulação da hipótese dinâmica; Formulação do modelo de simulação; Teste; Projeto de políticas e avaliação.
Randers (1980) sugere quatro estágios para a construção de um modelo: Conceituação, Formulação, Teste e Implementação.
A Tabela 2 apresenta a equivalência entre esses estágios.

Estágios de Construção de Modelos	
Sterman (2000)	**Randers (1980)**
Articulação do Problema	Conceituação
Formulação da hipótese dinâmica	
Formulação do modelo de simulação	Formulação
Teste	Teste
Projeto de políticas e Avaliação	Implementação

Tabela 2 - Equivalência dos estágios de construção de modelos sugeridos por Sterman e Randers.

Semelhantemente à Tabela 2, Luna-Reyes e Andersen (2003) apresentam a proposta de outros autores coletados na literatura sobre os estágios de construção de modelos. Embora na descrição do processo de modelagem os vários especialistas citados tenham organizado as principais atividades de modelagem em vários arranjos de estágios diferentes, indo de 3 até 7 estágios, as atividades ao longo dos estágios permanecem bastante constantes.

O detalhamento dos estágios de Articulação do Problema e Formulação da Hipótese Dinâmica, segundo Sterman (2000) é apresentado a seguir.

1. Articulação do Problema: importância do propósito

A etapa mais importante na modelagem é a articulação do problema. Quais são as questões que mais preocupam os clientes? Que problemas eles estão tentando resolver? Qual é o problema real, não apenas os sintomas ou as dificuldades? Qual é o propósito do modelo?

Cada modelo é a representação de um sistema - um grupo de elementos funcionalmente inter-relacionados, formando um todo complexo. Mas, para um modelo ser útil, ele precisa direcionar-se a um problema específico e deve simplificar, mais do que espelhar um sistema inteiro em detalhes. A arte da modelagem é saber o que cortar, e o objetivo do modelo é o de atuar como uma faca lógica. Ele provê critérios para decidir o que pode ser ignorado, de modo que apenas as características necessárias para preencher o propósito são deixadas. Normalmente o modelador desenvolve a caracterização inicial do problema através de discussões com a equipe do cliente, suplementada por pesquisa em arquivos, dados coletados, entrevistas e observação direta ou participação. Há muitos métodos disponíveis para trabalhar em grupo para explicitar as informações necessárias para definir o problema dinamicamente, sem deixar de manter a conversação focada firmemente no cliente e no seu problema.

Dois processos úteis são o estabelecimento de modos de referência e a fixação do horizonte de tempo.

Modos de referência:

Os modeladores da Dinâmica de Sistemas procuram caracterizar o problema dinamicamente, ou seja, como um padrão de comportamento, revelando ao longo do tempo, como o problema surge e como deve se comportar no futuro. Deve ser desenvolvido um modo de referência: um conjunto de gráficos e outros dados descritivos mostrando o desenvolvimento de um problema ao longo do tempo. Modos de referência minimizam a influência da visão orientada por eventos de curto prazo. Para que isso aconteça, deve ser identificado um horizonte de tempo e devem ser definidas variáveis e conceitos considerados importantes para o entendimento do problema e deve ser explicitado o projeto de políticas para resolvê-lo.

Horizonte de Tempo:

O horizonte de tempo deve se estender para trás da história do problema o suficiente para mostrar como o mesmo emergiu e descrever seus sintomas. Deve se estender suficientemente para o futuro de modo a capturar efeitos atrasados e indiretos. Muitas pessoas dramaticamente subestimam a duração dos atrasos no tempo e selecionam horizontes de tempo muito curtos. Uma deficiência em nossos modelos mentais é pensar em causa e efeito como locais e imediatos. Em sistemas dinamicamente complexos, causa e efeito são usualmente distantes no tempo e espaço. Por exemplo: Deve-se trabalhar com os clientes de modo a que pensem sobre possíveis reações às políticas e em quanto tempo eles acreditam que elas vão aparecer. Então se deve aumentar o horizonte de tempo ainda mais. Uma boa regra é fixar o horizonte de tempo muitas vezes a mais que o maior atraso de tempo do sistema.

2. Formulação da hipótese dinâmica:

A hipótese dinâmica é a teoria de como surge o problema. Ela guia os esforços da modelagem focando em certas estruturas. Na prática, discussões sobre o problema e teorias a respeito das causas do problema estão misturadas em conversações com a equipe do cliente. Cada membro da equipe provavelmente tem uma teoria diferente a respeito da fonte do problema; é necessário conhecê-las e capturá-las. Muitas vezes o propósito do modelo é resolver um problema importante e crítico, que persistiu por anos e gerou muito conflito e animosidade entre os membros da empresa. No começo do processo de modelagem, o modelador necessita trabalhar como um facilitador, capturando esses modelos mentais sem criticá-los ou filtrá-los. Questões para clarear ou explorar são úteis, mas o papel do modelador nessa fase é de ouvinte, não de especialista.

Explanação endógena:

A Dinâmica de Sistemas busca uma explanação endógena para o fenômeno. A palavra “endógena” significa “que surge de dentro”. Uma teoria endógena gera a dinâmica do sistema através da interação das variáveis e agentes representados no modelo. Isso não significa, no entanto, que nunca se deva incluir uma variável exógena no modelo, mas que o número de entradas exógenas deva ser pequeno.

Mapeamento da estrutura do sistema:

Aqui cabe o desenvolvimento de mapas de estrutura causal baseados nas hipóteses iniciais, variáveis chave, modos de referência, e outros dados disponíveis. A Dinâmica de Sistemas inclui uma variedade de ferramentas para auxiliar a

comunicar os limites do modelo e representar a estrutura causal: diagramas de limites do modelo, diagramas de subsistemas, diagramas de enlace causal, diagramas de fluxos e estoques, diagramas de política de estrutura, entre outras ferramentas.

2.10.1 Modelagem em Dinâmica de Sistemas Qualitativa

A modelagem em Dinâmica de Sistemas Qualitativa refere-se às etapas de Articulação do problema e Formulação da hipótese dinâmica conforme Sterman (2000), que são equivalentes à etapa de Conceituação, segundo Randers (1980), apresentadas na Tabela 2.

Em sua forma original a Dinâmica de Sistemas foi concebida para ser puramente um método de simulação computacional. Dado que os modelos são basicamente modelos de controle de realimentações, introduziram-se os Diagramas de Enlace Causal, ou Diagramas de Influência (como são conhecidos no Reino Unido) para descreverem os processos de realimentação nas operações. Os Diagramas de Enlace Causal se tornaram um meio de alto nível de concepção de modelos em termos de sua estrutura de malhas de realimentação. Esses diagramas eram em seguida convertidos em Diagramas de Fluxo e Estoque com o propósito de simulação do modelo (WOLSTENHOLME, 1999).

Mais tarde, foi sugerido por um grupo de autores, que os Diagramas de Enlace Causal fossem utilizados sem uma modelagem de simulação formal por computador para auxiliar questões de estruturação e de resolução de problemas. Esse trabalho complementou desenvolvimentos em vários locais resolvendo problemas gerenciais onde idéias de mapeamento cognitivo estavam sendo exploradas. Desse processo, dois desenvolvimentos em paralelo se desenvolveram: um que foi chamado de Dinâmica de Sistemas Qualitativa ou Dinâmica de Sistemas *Soft* (BARTON et al., 2004) simplesmente porque o interesse era aplicar todos os aspectos da Dinâmica de Sistemas, salvo a quantificação e a simulação; e o outro onde o conceito de Diagrama de Enlace Causal *Stand Alone* foi desenvolvido como um componente chave para o aprendizado organizacional e chamado de Pensamento Sistêmico (WOLSTENHOLME, 1999).

Para Vennix (1996), muito embora se saiba que a simulação é uma técnica extremamente importante para ganhar um entendimento mais profundo do problema, existem casos em que é impossível construir modelos quantitativos do problema em consideração, seja por falta de tempo, seja pela completa intangibilidade do problema. Nestes casos, o melhor que se pode fazer é construir um modelo qualitativo a fim de obter *insights* de muitos ângulos diferentes, isto é, compor um grupo com pessoas que tenham visões diferentes em uma equipe, relatar suas opiniões e *insights*, e submeter essas opiniões e *insights* a testes de validação tão cuidadosos quanto possível. Se conduzida adequadamente, a equipe se inserirá imediatamente em um processo de aprendizado a respeito do problema.

Bertalanffy (1973) cita que são bem conhecidas as vantagens dos modelos matemáticos (ausência de ambigüidade, possibilidade de estrita dedução, possibilidade de verificação por meio de dados observados), mas isso não significa que os modelos formulados em linguagem ordinária devam ser desprezados ou recusados. Um modelo verbal é melhor do que a inexistência de um modelo ou do que o uso de um modelo que, por ser formulado dentro do rigor matemático, é imposto à força à realidade, falsificando-a.

Para Andrade et al. (2006), o Pensamento Sistêmico abandona a ênfase nos objetos para concentrar-se nos padrões e nas formas, mudando da mensuração quantitativa dos objetos para uma postura de mapeamento e visualização. Na medida em que os objetos possuem propriedades intrínsecas próprias, como pressupõe o pensamento analítico, para distingui-los seria necessário compará-los com padrões universais, ou seja, medi-los e quantificá-los. Porém, diante do pressuposto do Pensamento Sistêmico de que propriedades são dependentes de contextos, relações, formas e padrões, essas mensurações necessitam contextualização na teia de relacionamentos. Como relacionamentos, formas e padrões são difíceis de serem mensurados, torna-se necessária uma atitude mais flexível, envolvendo visualização e mapeamento. Assim, pensar em termos de padrões implica uma mudança de quantidade para qualidade.

Baseado na experiência de realização de muitos modelos, Coyle (2001) cita que, se para elaborar o Diagrama de Enlace Causal são requeridas X unidades de esforço, então para montar e simular o modelo serão necessárias entre 10X e 100X unidades de esforço.

Alguns autores acreditam que a simulação é essencial (STERMAN, 2000; FORRESTER, 1961; HOMER; OLIVA, 2001) na Dinâmica de Sistemas. Para esses autores, a explicitação e o mapeamento mental não são suficientes, visto que os modelos mentais dos seres humanos são limitados, deficientes, omitem realimentações, atrasos, acúmulos, entre outros elementos.

Muitos trabalhos realizados apenas com modelagem em Dinâmica de Sistemas Qualitativa são apresentados na literatura e demonstram a sua utilidade (COYLE, 2000, 2001).

A parte prática deste trabalho foi apoiada na modelagem em Dinâmica de Sistemas Qualitativa, para a finalidade com que foi utilizada, ou seja, criar entendimento dos problemas partilhado pelas equipes, promover consenso sobre as questões, criar comprometimento com as decisões, para que pudessem ser construídos por pessoas que não necessariamente tivessem conhecimentos matemáticos (equações diferenciais ordinárias), e principalmente, para que os modelos pudessem ser finalizados em tempo hábil dentro do prazo dos projetos Seis Sigma. Nos três casos testados a modelagem qualitativa mostrou-se eficaz.

2.10.2 Construção de Modelo em Equipe

Construir modelos em Dinâmica de Sistemas úteis para reflexão é difícil e requer habilidades do modelador; construir modelos em Dinâmica de Sistemas em grupos úteis para reflexão é muito mais difícil devido às implicações de comunicação interpessoal, processos em grupos e relações humanas (RICHARDSON, 1999).

Mas, além do grupo fabril, envolver um grupo no processo de modelagem expande as fontes de informação para o modelo, melhora a validade do modelo, aumenta a possibilidade dos clientes gerarem *insights* a partir das intervenções, e aumenta grandemente a probabilidade de que os clientes se movam dos *insights* para além da conversação, para a implementação (RICHARDSON, 1999).

Toda organização se depara com problemas estratégicos. Antigamente, as decisões estratégicas eram tomadas por uma única pessoa no topo da hierarquia organizacional. Entretanto, a organização do tipo “comando e controle” ficou para trás. Cada vez mais, as equipes tornam-se blocos críticos sobre os quais depende o

desempenho das modernas organizações. Outros motivos pelos quais os problemas estratégicos são atualmente tratados mais por equipes do que por indivíduos são devidos à complexidade e à incerteza dos problemas que esmagam a capacidade cognitiva de qualquer indivíduo. Além disso, muitos problemas estratégicos podem estar inter-relacionados, o que aumenta a complexidade dos problemas. Muitos autores denominaram esse tipo de problema de “confusos” (VENNIX, 1996).

Um das características dos problemas confusos é que as pessoas possuem visões inteiramente diferentes sobre (a) se há um problema, e se concordam que exista, e (b) qual é o problema. Nesse sentido, situações “confusas” são quase intangíveis e vários autores sugerem que não há problema “objetivo”, apenas situações definidas como “problemas” pelas pessoas. Nesse caso, as pessoas possuem visões tão amplamente diferentes que a definição do problema é uma área obscura (VENNIX, 1996).

Mas, embora pareça o contrário, diferentes pontos de vista podem ser muito produtivos. Eles podem ajudar a desafiar suposições implícitas sobre as situações e a prevenir uma definição prematura do problema. Ao mesmo tempo, entretanto, as diferenças de opinião geram discussões longas e frustrantes. Este é o caso quando membros de uma equipe parecem convencidos de que sua perspectiva é a correta e a dos outros é a errada (VENNIX, 1996).

O aprendizado em equipe pressupõe que as pessoas desejem questionar suas opiniões. Como resultado, os líderes das equipes que querem criar equipes de aprendizado, são confrontados com questões do seguinte tipo: como criar uma situação na qual os participantes das equipes comecem a duvidar de suas idéias ao invés de obstinadamente agarrarem-se às suas próprias opiniões; como criar uma atmosfera na qual os membros das equipes tentem aprender uns com os outros, ao invés de tentarem visivelmente ganhar a discussão demonstrando seu conhecimento; como criar um entendimento partilhado de um problema em equipe; como promover consenso sobre uma questão; como criar comprometimento com uma decisão estratégica (VENNIX, 1996).

Colocando de outra maneira, sob o ponto de vista de sistemas, a questão é como fazer os membros da equipe colaborarem na construção de um modelo em equipe, de modo a que o todo seja maior que a soma das partes (VENNIX, 1996).

A construção de modelo em equipe é um processo no qual os membros da equipe partilham suas percepções de um problema e exploram questões como: qual é

exatamente o problema que encaramos? Como o problema se origina? Quais poderiam ser as causas básicas? Como pode ser eficazmente atacado? (VENNIX, 1996).

Identificam-se três propósitos da construção de modelo em equipe. O primeiro é criar um clima no qual o aprendizado em grupo possa acontecer a fim de aumentar o entendimento do problema. O segundo é promover o consenso. Finalmente, a intervenção deve proporcionar a aceitação da decisão e comprometimento com a decisão (VENNIX, 1996).

O processo de construção de um modelo em equipe parte de algumas idéias básicas (VENNIX, 1996):

1. A primeira idéia básica é que os modelos mentais das pessoas são limitados pelas capacidades humanas em processar informações. A Dinâmica de Sistemas pode ser útil para explicitar e integrar modelos mentais com uma visão mais holística do problema e explorar as dinâmicas dessa visão holística.
2. A segunda idéia básica é que as pessoas têm uma forte tendência a pensar em processos causais ao invés de redes de variáveis relacionadas. É raro que as pessoas enxerguem mais de uma causa para um problema. Cada política proposta para aliviar um problema contém uma ou mais suposições causais escondidas sobre os efeitos da política de intervenções. A Dinâmica de Sistemas pode ser útil para criar uma descrição mais adequada do problema, explicitando as suposições causais escondidas que todos mantêm**,** integrando-as em uma representação mais completa.

Na realidade, o objetivo principal da atividade de construção de um modelo em equipe não é construir “o modelo perfeito” do sistema, mas manter o grupo engajado na construção de um modelo de dinâmica de sistemas do problema que permita ver em qual extensão esse processo poderia ser útil, de modo a aumentar o entendimento focando a ação onde os membros do time sentir-se-ão comprometidos (VENNIX, 1996).

Uma importante característica da construção de modelo em equipe é que o “fato” é separado do “valor”. O foco principal é descritivo e diagnóstico: a maneira que os membros da equipe pensam que um sistema trabalha é separada da questão de

como eles gostariam que o sistema trabalhasse. E essa separação é útil para clarear o debate estratégico (VENNIX, 1996).

Como não existem dois problemas iguais, os resultados de um processo de construção de modelo em grupo podem ser imprevisíveis e difíceis de serem antecipados. Os resultados freqüentemente não são uma clara decisão, mas uma mudança de perspectiva no problema, o que, por sua vez, pode afetar as escolhas da organização (VENNIX, 1996).

Vennix (1996) sugere a utilização de *Workbooks* a fim de que os modelos possam ser criticados pelos participantes. Neles os processos são explicados e questões podem ser colocadas.

Quanto às técnicas normalmente utilizadas para coletar dados qualitativos que podem ser utilizadas na formulação do modelo em Dinâmica de Sistemas, Luna-Reyes e Andersen (2003) sugerem: entrevista, história falada, grupo *focus*, grupo *Delphi*, observação, observação participativa e abordagens experimentais.

A entrevista foi a técnica escolhida neste trabalho.

Segundo Luna-Reyes e Andersen (2003), a entrevista é um sustentáculo da coleta de dados qualitativos em ciência social. Feita pessoalmente ou por telefone, ela permite a interação entre o pesquisador e o respondente. Ela pode ser estruturada, onde o pesquisador segue um *script* que canalisa os tópicos da entrevista, ou pode ser não estruturada, onde se permite que o respondente conte histórias, dê exemplos, e freqüentemente são desenterradas questões que o entrevistador considera como imprevistas ou contra-intuitivas. Após conduzir as entrevistas, o pesquisador analisa os dados, busca padrões, definições, histórias, utilizando o material explicitado dos entrevistados.

2.10.3 Papel do Facilitador

A palavra facilitar[5] significa tornar fácil, auxiliar, simplificar. O facilitador é, pois, a pessoa que auxilia, que torna mais fácil para a equipe construir o modelo do seu problema.

[5] Tornar fácil ou mais fácil. (FACILITAR. In WEBSTER'S NEW WORLD DICTIONARY. Cleveland: Collins World, 1978).

Para esclarecer o papel do facilitador, é interessante que se faça inicialmente uma distinção entre conteúdo (o objeto sob discussão), procedimento ou método (o modo como o problema é atacado) e processo (o modo como os membros do grupo interagem uns com os outros). O facilitador do grupo se concentra basicamente no procedimento e no processo, e não no conteúdo. Em outras palavras, o facilitador do grupo se concentra em como as coisas são feitas durante as reuniões. Não é necessário que o facilitador seja um grande conhecedor do objeto em questão, aliás, muito conhecimento sobre a questão pode impedir que o processo seja visto com neutralidade durante as reuniões. Mas, por outro lado, a falta de conhecimento pode também atrapalhar o processo (VENNIX, 1996).

É sempre uma boa idéia que o facilitador leia sobre o problema ou faça algumas entrevistas para que consiga manter o curso das discussões durante as reuniões. Entretanto, o que é realmente requerido do facilitador no contexto da construção de modelos em equipe, é um profundo conhecimento de Dinâmica de Sistemas e habilidades de modelagem para que seja capaz de fazer as questões certas durante as reuniões (VENNIX, 1996).

Segundo Vennix (1996), algumas atitudes do facilitador contribuirão para que o trabalho de construção de modelo em grupo seja mais eficaz. Ele cita as seguintes atitudes: de auxílio, de autenticidade e integridade, de indagação, de neutralidade. Sem essas atitudes, as habilidades do facilitador serão inúteis.

Quanto às habilidades do facilitador necessárias para um efetivo processo de facilitação, Vennix (1996, 1999) cita as seguintes: habilidade em construir modelos em Dinâmica de Sistemas, em estruturar processos em grupo, em lidar com conflitos, em comunicar-se, em manter o foco, em construir equipes, em obter consenso e comprometimento, em intervir, em lidar com uma variedade de atividades e tarefas cognitivas, em gerar informação.

PARTE II: SEIS SIGMA

2.11 VISÃO GERAL

O Seis Sigma vem despontando como uma das práticas atuais de sucesso na área da melhoria da qualidade. Na verdade, ele não é algo totalmente novo, pois utiliza várias ferramentas que já eram bastante conhecidas nas empresas e no meio acadêmico, algumas delas bastante disseminadas desde o TQM. O diferencial que o Seis Sigma incorpora, está na metodologia estruturada combinada ao uso do pensamento estatístico e na busca de resultados financeiros em cada projeto.

Para Bisgaard e De Mast (2006), o Seis Sigma, considerado como a evolução do gerenciamento da qualidade, é altamente poderoso e bem sucedido. Com a aplicação das suas ferramentas e metodologias, as indústrias não apenas se tornam mais competitivas e inovadoras, como também democratizaram o uso da estatística industrial (STEINBERG, 2008).

O Seis Sigma surgiu em meio a uma campanha agressiva lançada por um grupo de empresas líderes da indústria americana para aumentar os lucros, o *market share* e a satisfação dos clientes (HARRY, 1998).

Segundo Pande et al. (2002), as empresas que o têm adotado, têm registrado economias de bilhões de dólares, rapidez, além de novos e fortes relacionamentos com os clientes. Na realidade, o Seis Sigma contribui não apenas para medir e analisar o desempenho da empresa, mas também para melhorar a abordagem básica da gestão da empresa.

Como benefícios comprovados da prática do Seis Sigma, Pande et al. (2002) citam: redução de custos, melhoria da produtividade, crescimento de fatia de mercado, retenção de clientes, redução de tempo de ciclo, redução de defeitos, mudança cultural, desenvolvimento de produto/serviço, entre outros.

Para Harry e Schroeder (2000), contrariamente ao que muitas pessoas imaginam, o objetivo do Seis Sigma não é alcançar o nível seis sigma de qualidade, mas sim de melhorar a lucratividade da empresa. As melhorias de qualidade e eficiência são subprodutos do Seis Sigma. Na visão de De Mast e Bisgaard (2007), o aspecto menos importante do Seis Sigma é o de alcançar a meta de 3,4 DPMO; a contribuição de maior importância é a estrutura que ele provê para gerenciar as iniciativas de melhoria nas organizações.

Muitas metodologias com base estatística são propostas na literatura industrial para os projetos de melhoria da qualidade. De Mast (2004) comparou os métodos Taguchi, Sistema Shainin e Seis Sigma e concluiu que o Seis Sigma é a mais completa entre as três, embora cite que as ferramentas propostas para o Seis Sigma

na fase de identificação dos fatores potenciais de influência, deveriam apresentar mais estrutura e coerência.

O que se constata também é que o Seis Sigma não vem sendo aplicado apenas nas grandes empresas. Sua aplicação está se ampliando entre as Pequenas e Médias Empresas – PMEs, emergindo como a nova onda de mudança do Seis Sigma (ANTONY et al., 2005).

Um estudo entre 60 PMEs na área de manufatura foi realizado no Reino Unido (ANTONY et al., 2005) e chegou às seguintes conclusões: 70% das empresas operam entre 2,8 e 4 σ; 69% das empresas usa o DMAIC; 80% das empresas disseram que a falta de recursos é o fator que mais impede a introdução do Seis Sigma. Neste estudo ainda se levantou que as ferramentas mais usadas pelas PMEs eram histograma, análise de causa e efeito e mapeamento de processos. As ferramentas consideradas como mais úteis incluem mapeamento de processos, análise de causa e efeito, histograma, cartas de controle, FMEA, análise de capacidade de processo e Poka Yoke. Isso fez os pesquisadores entenderem que as ferramentas que oferecem representação visual e que identificam a causa raiz dos problemas, são mais fáceis de usar e agradam mais aos usuários do que as sofisticadas e complexas ferramentas estatísticas.

O sucesso das grandes empresas é criticamente dependente da qualidade das matérias primas, dos componentes e serviços recebidos dos seus fornecedores e estes, em boa parte, são formados pelas PMEs. Sendo assim, uma conseqüência lógica é que as grandes organizações encorajem a aplicação de técnicas já comprovadas de melhoria de qualidade, enquadrando-se aqui o Seis Sigma. Considerando-se o fato que as modernas economias operam como uma rede de empresas, a competitividade das PMEs afeta a posição competitiva de uma economia como um todo (WESSEL; BURCHER, 2004).

Fora da esfera industrial, o Seis Sigma também vem sendo aplicado e trazendo benefícios às organizações em diversas áreas de serviço (ANTONY, 2006; DREACHSLIN; LEE, 2007), tais como a financeira (BIELSKI, 2005; GORDON, 2006; HOERL, 2007), a de saúde (ANTONY et al., 2007; RIEBLING et al., 2004), telecomunicações, áreas governamentais, educação, entre outras.

Baseados na implementação do Seis Sigma em estudos de caso, Savolainen e Haikonen (2007) concluem que o aprendizado, na sua aplicação, é o de malha

simples de Argyris. A metodologia de implementação analítica e baseada em etapas envolve estruturas e procedimentos que suportam a melhoria contínua.

Quanto às futuras direções do Seis Sigma, depoimentos de especialistas citam as seguintes tendências (HOERL et al., 2004): continuar evoluindo tanto em termos de ferramentas quanto em desdobramento; ser cada vez mais aplicado em novas áreas especialmente na financeira e na de saúde; criação de novos desenvolvimentos e padronizações no DFSS – *Design for Six Sigma*; integração aos sistemas de qualidade em geral, ao invés de ser visto como uma iniciativa aplicada individualmente; integração a outras abordagens, como a Teoria das Restrições (TOC) e *Lean Manufacturing*; continuar crescendo, sofrendo alterações e enfim, ser substituído quando as suas ferramentas, sistema de gestão e filosofia encontrarem oposição, o que é uma evolução natural nos programas de melhoria.

2.11.1 O que é Seis Sigma

Na literatura encontram-se várias maneiras de conceituar Seis Sigma:

> Um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. O Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado dos fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios (PANDE et al., 2002).
>
> É um processo de negócios que permite às companhias melhorarem drasticamente o *bottom line* [6], através do projeto e monitoramento diário de atividades de negócios de modo a minimizar perdas e recursos, e ao mesmo tempo aumentar a satisfação dos clientes (HARRY; SCHROEDER, 2000).
>
> Seis Sigma é uma rigorosa, focada e altamente eficaz implementação de comprovados princípios e técnicas da qualidade. Incorpora elementos do trabalho de vários pioneiros da qualidade e objetiva um desempenho livre de erros nos processos de negócios (PYZDEK, 2003).
>
> Seis Sigma é uma filosofia de trabalho para alcançar, maximizar e manter o sucesso comercial por meio da compreensão das necessidades do cliente (internas e externas). É um conceito que se concentra no cliente e no produto. Seis Sigma é uma metodologia estruturada que incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem e serviço, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio (ROTONDARO, 2002).

Santos e Martins (2008) apresentam um quadro bastante completo sobre as definições do Seis Sigma selecionadas na literatura ao longo do tempo, desde a

---

[6] O *bottom line* é a linha onde é reportado o lucro operacional que a empresa obteve no período.

década de 90, quando a abordagem do Seis Sigma era mais estatística, até a virada do século, quando ele passou a ter uma abordagem mais estratégica.

2.11.2 Origem do Seis Sigma

Segundo Harry e Schroeder (2000), a busca do alcance do Seis Sigma começou na Motorola, em 1979, quando o executivo Art Sundry levantou-se em uma reunião de gerenciamento e proclamou: “O problema real da Motorola é que a nossa qualidade é péssima”. Uma nova era nascia na Motorola em busca da correlação crucial entre alta qualidade e baixos custos de desenvolvimento em todos os produtos manufaturados.

Naquela época, enquanto muitas empresas americanas acreditavam que a qualidade custava caro, a Motorola percebeu que, quando o produto era produzido corretamente, a melhoria da qualidade convergiria para a redução dos custos. Nesse período a Motorola gastava de 5 a 10% do seu faturamento anual, e em alguns casos, até 20%, corrigindo a má qualidade. Enquanto os executivos saíram atrás de maneiras de cortarem custos, Bill Smith, um engenheiro do Setor de Comunicações da Motorola, trabalhava na correlação entre a vida do produto e quantas vezes o produto havia sido reparado durante o processo de manufatura. Em 1985, Smith apresentou um artigo onde concluía que, se um produto fosse encontrado com um defeito e corrigido durante o processo de produção, isso limitaria o aparecimento de outros defeitos, que seriam encontrados, mais tarde, pelo cliente, durante o uso inicial do produto. Mas, se o produto fosse produzido livre de falhas, raramente falharia durante o uso inicial do produto (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Algumas pessoas demonstraram ceticismo diante das conclusões de Bill Smith. Mas, outras passaram a considerar seus resultados. Se os defeitos escondidos eram responsáveis pelas falhas tão logo os usuários começassem a usar os produtos, era necessário melhorar o processo de manufatura. Como resultado, a Motorola iniciou uma jornada para aumentar a qualidade e, simultaneamente, reduzir o tempo de produção e os custos, focando em como o produto era projetado e produzido. Este foi o *link* entre qualidade mais alta e custos mais baixos que levou ao desenvolvimento do Seis Sigma (HARRY; SCHROEDER, 2000).

A diferença entre as abordagens do TQM e o conceito Seis Sigma foi uma questão de foco. O TQM tinha como foco melhorar as operações individuais em processos não relacionados. A conseqüência é que muito tempo é necessário até que todas as operações de um dado processo sejam melhoradas. Os arquitetos do Seis Sigma na Motorola tiveram como foco melhorias em todas as operações dentro de um dado processo, produzindo resultados de modo mais rápido e eficaz (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Com o Seis Sigma, em quatro anos a Motorola economizou US$ 2,2 bilhões. Em pouco tempo, o Seis Sigma da Motorola se espalhou rapidamente por outras indústrias e para além da área de manufatura (HARRY; SCHROEDER, 2000).

2.12 GANHOS COM A APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA

O Seis Sigma tem seu foco nos requisitos dos clientes, na prevenção dos defeitos, na redução do tempo de ciclo e na diminuição dos custos. Assim, os benefícios aparecem diretamente na *bottom line* da empresa (PYZDEK, 2003).

Segundo Bisgaard e Freiesleben (2004), o maior prêmio de qualidade que se possa ganhar é melhorar os lucros indicados na *bottom line.* Clientes satisfeitos retornam e encorajam sócios, familiares e amigos a fazerem o mesmo. É o voto dos clientes que conta e não o de um comitê ou organismo certificador. No ambiente de negócios competitivo como o atual, as iniciativas devem se justificar economicamente.

Jennifer Murphy, analista da Morgan Stanley, Dean Witter, Discover & Co, uma pessoa impaciente com os fracos efeitos que os programas de qualidade proporcionavam na *bottom line* das empresas, após três dias em contato com centros de aprendizado do Seis Sigma, surpreendeu-se com o que pôde constatar: “As empresas Seis Sigma... alcançam um retorno de capital mais rápido, gastos em P&D mais produtivos, mais rápido desenvolvimento de novos produtos, e maior satisfação dos clientes” (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Os números encontrados na literatura a respeito dos ganhos com o Seis Sigma são tão altos que a todos impressionam (PANDE et al., 2002):

- Na GE após um ano de esforços os ganhos alcançaram a marca de US$ 750 milhões no final de 1998, US$ 1,5 bilhão no final de 1999. Alguns analistas da Wall Street previram US$ 5 bilhões no início dessa década.
- A Motorola estava com seu futuro em jogo no início dos anos 80 devido à concorrência das empresas japonesas. Após dois anos do lançamento do Seis Sigma, a Motorola recebeu o *Malcolm Baldrige National Quality Award*, apresentou um crescimento no número de funcionários de 71.000 em 1980 para mais de 130.000 em 1998. Entre 1987 e 1997 obteve um crescimento de cinco vezes nas vendas, com lucros subindo quase 20% ao ano, economia acumulada decorrente do esforço Seis Sigma fixada em US$ 14 bilhões e os ganhos no preço das ações aumentaram para uma taxa anual de 21,3%.
- A Allied Signal, que em 1999 passou a se chamar Honeywell, também apresenta uma história de sucesso devido ao Seis Sigma. Ela começou suas atividades de melhoria da qualidade no início dos anos 90 e, por volta de 1999, estava economizando mais de US$ 600 milhões ao ano, graças ao amplo treinamento dos funcionários em Seis Sigma e à aplicação de seus princípios. A empresa confere ao Seis Sigma o mérito do aumento da produtividade em 6% em 1998 e de sua margem de lucro recorde de 13%, no desenvolvimento de novos produtos reduziu o tempo do projeto à certificação de 42 para 33 meses.
- Várias outras empresas também dão mostras de uma grande variedade de melhorias, beneficiando tanto o cliente quanto os acionistas, obtidos pelos esforços do Seis Sigma: Asea Brown Boveri, Black & Decker, Bombardier, Dupont, Dow Chemical, Federal Express, Johnson & Johnson, Kodak, Navistar, Polaroid, Seagate Technologies, Siebe Appliance Controls, Sony, Toshiba e muitas outras.

Pande et al. (2002) citam que alguns pontos esquecidos na maior parte da literatura sobre Seis Sigma, por eles chamados de verdades ocultas, auxiliam a demonstrar o verdadeiro valor do Seis Sigma e os benefícios que ele traz às organizações:

- Verdade oculta n.1. O Seis Sigma abrange um amplo conjunto de melhores práticas e habilidades de negócios que são ingredientes essenciais para o sucesso e o crescimento, sendo muito mais do que um método analítico

baseado em estatística. O resultado é que o Seis Sigma pode ser aplicado a muitas atividades diferentes de negócios (planejamento estratégico, operações, serviços a clientes) e maximizar o impacto de seus esforços.

- Verdade oculta n.2. Existem muitas “Estratégias Seis Sigma” e seguir uma receita fixa ou modelar os esforços com base nos de outra empresa poderá levar ao fracasso. Sugerem-se opções e diretrizes ajustadas às necessidade e prioridades de cada negócio e ao estado de preparo para mudanças na organização. O resultado é que os benefícios do Seis Sigma são acessíveis, seja para uma organização inteira, seja para um departamento.
- Verdade oculta n.3. Os ganhos potenciais decorrentes do Seis Sigma são igualmente significativos (se não mais) em organizações de serviços e atividades não-fabris quanto o são em ambiente técnicos. O resultado é que há muito que se ganhar estendendo os domínios do Seis Sigma para além dos domínios da comunidade de engenharia.
- Verdade oculta n.4. O Seis Sigma diz respeito tanto à excelência das pessoas quanto à excelência técnica. A criatividade, colaboração, comunicação, dedicação, são infinitamente mais poderosas do que um corpo de super-estatísticos. O resultado é que se ganha *insight* de como atingir um equilíbrio entre conciliar pessoas e exigir desempenho.
- Verdade oculta n.5. Se executada de maneira correta, a melhoria Seis Sigma é recompensadora, embora exija muito trabalho e não seja livre de riscos. O resultado é que os ganhos financeiros advindos do Seis Sigma podem ser ultrapassados em valor pelos benefícios intangíveis: mudanças de atitudes, entusiasmo, pessoas mais bem informadas, entre outros.

2.13 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PELO SEIS SIGMA

Como todos os sistemas, o Seis Sigma é formado por componentes essenciais que se combinam para dirigir o desempenho melhorado dos negócios (PANDE et al., 2002).

A analogia utilizada por Pande et al. (2002) para explicar como o Seis Sigma é um sistema de malha (*loop*) fechada, é o aprendizado de uma criança que começa a

andar de bicicleta. No começo, ela tem a ajuda de um adulto. Depois, já com mais equilíbrio, consegue andar sozinha. Quando ela cai, o adulto a levanta e a coloca de volta na bicicleta. Do mesmo modo, os negócios também saem do rumo e se tiver sorte e conseguir se levantar rapidamente, a empresa poderá voltar ao seu caminho. O Seis Sigma se baseia, em grande parte, em criar um sistema de negócios de malha fechada que seja sensível o suficiente para reduzir o cambalear da empresa e mantê-la com segurança no caminho cheio de curvas em direção a seu bom desempenho e sucesso.

Pande et al. (2002) apresentam o modelo de uma empresa através da perspectiva do fluxo de um processo, conforme a Figura 17. Na esquerda estão as entradas do processo (ou sistema), no meio está a organização ou processo em si (representado por um mapa de processo ou fluxograma), na direita estão os clientes, produtos finais e lucros.

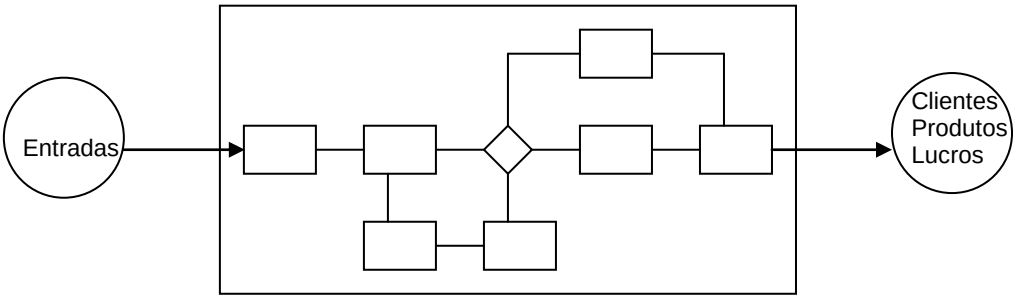
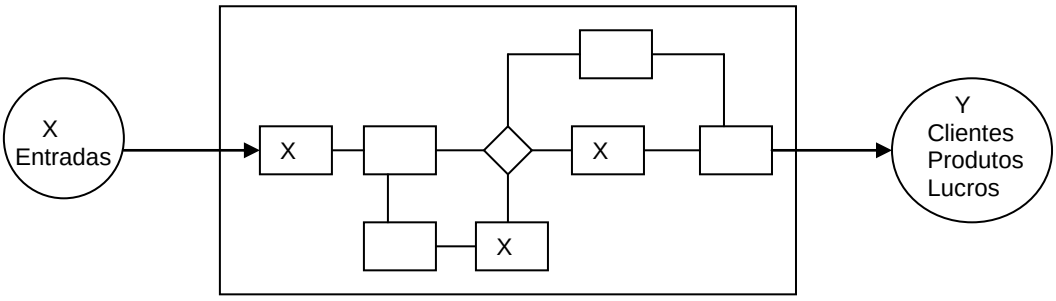


Figura 17 - O modelo de processo de negócio
Fonte: Adaptado de Pande et al. (2002)

Em seguida, Pande et al. (2002) representam medidas ou variáveis em diferentes pontos do sistema: os X que aparecem na entrada e no fluxo do processo seriam indicadores de mudança ou desempenho nas partes independentes do sistema. Os Y representam medidas do desempenho dos negócios, conforme apresentado na Figura 18. A fórmula Y= f(X) é o modo matemático de dizer que mudanças ou variações nas entradas e processos do sistema determinarão, em grande parte, como o Y resultará.

Percebe-se que é utilizada a descrição externa do sistema, muito embora Pande et al. definam a variável X como entradas ou variáveis de processo, o que indicaria a intenção de considerar as variáveis internas (de estado) do sistema.

Pyzdek (2003) também descreve o sistema como Y= f(X). O Y é a saída do processo e X são as entradas. O processo em si é simbolizado como f(), a função de transferência que converte as entradas em saídas.



X – entrada ou variável de processo; Y – variável de saída

$$Y = f(X)$$

Figura 18 - Variáveis independentes (X) e dependentes (Y)
Fonte: Adaptado de Pande et al. (2002)

Pyzdek (2003) utiliza como analogia para explicar essa relação matemática uma receita culinária de *crisp* de milho: o *Big* Y é a satisfação total com o prato acabado, os Ys menores poderiam ser o aroma, o fato de estar crocante, fresco, etc. Os Xs são a espessura das fatias de milho, o tamanho de cada grão, a cor dos grãos, etc. Os Xs também podem incluir a temperatura do forno, o tempo de permanência no forno, o forno utilizado, os utensílios, etc.

Como anteriormente, muito embora Pyzdek defina os Xs como entradas, as variáveis do processo também são incluídas nesse grupo de elementos. Percebe-se que, tanto Pyzdek quanto Pande et al., não distinguem claramente o que são as entradas e o que são as variáveis internas ao processo, e utilizam, no final, a representação externa do sistema. A autora deste documento crê que uma distinção mereça ser feita visando auxiliar a análise de causa e efeito que deve ser realizada e aumentar o rigor matemático.

Normalmente os sistemas ou processos que são tratados nos projetos Seis Sigma são multivariáveis, ou seja, possuem várias entradas e várias saídas. Eles costumam também ser dinâmicos, variantes no tempo. Além disso, como a intenção deste trabalho tem a ver com a busca de comportamentos gerados pela própria estrutura do sistema, para descrever os sistemas, a autora sugere que seja utilizada a descrição interna em espaço de estados, pois nesta, as relações entre as variáveis de estado (internas) do sistema são representadas, e fica claro que as saídas são funções tanto das entradas, quanto das variáveis de estado. As equações matemáticas que representam as equações do sistema em espaço de estados foram apresentadas neste documento na equação (3), no item 2.4.1.2. A Figura 19

apresenta o diagrama de blocos do processo e essas equações. As flechas múltiplas representam as várias entradas e saídas.

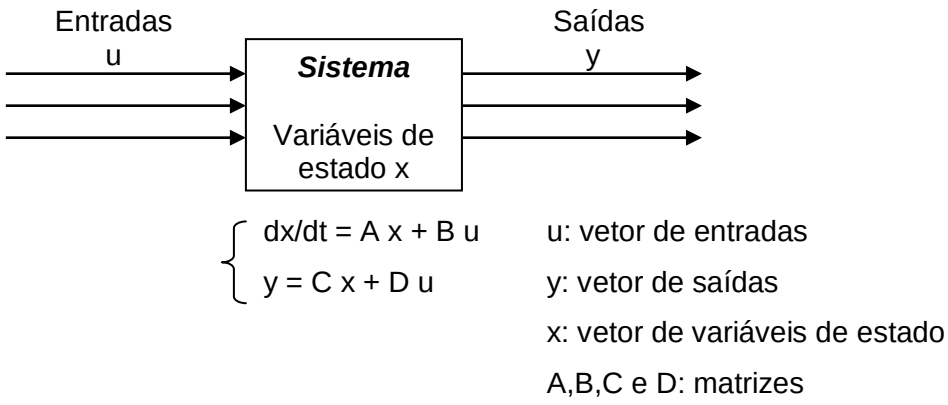


Figura 19 - Diagrama de blocos e equações do sistema em espaço de estados
Fonte: A autora

Feitas essas considerações, sob um ponto de vista amplo, o papel do Seis Sigma pode ser entendido como o de um controlador de um sistema de controle em malha fechada, como apresentado na Figura 20. As saídas do sistema são comparadas com as saídas desejadas, especificadas no projeto Seis Sigma. Se houver uma diferença, o controlador, que é o Seis Sigma, atuará para fazer a situação chegar ao ponto desejado.

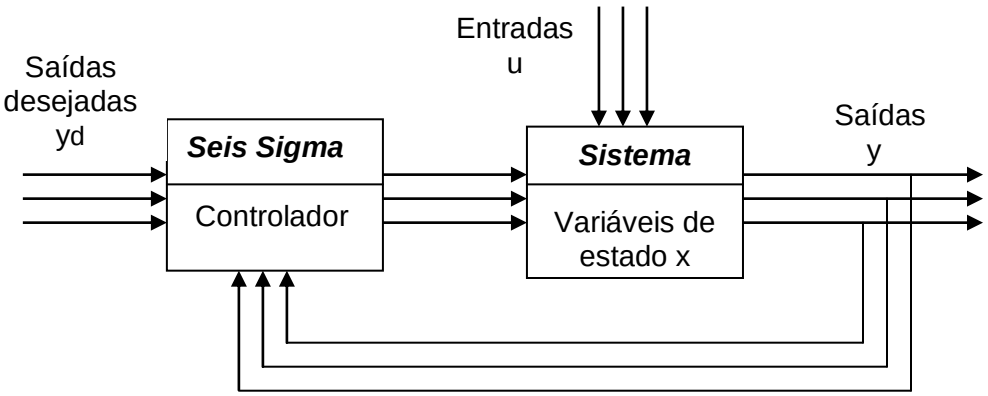


Figura 20 - Seis Sigma é um controlador de um sistema de controle de malha fechada
Fonte: A autora

Quanto ao tipo de aprendizado que esta abordagem do Seis Sigma proporciona percebe-se que se trata do aprendizado de malha simples de Argyris: há a detecção das saídas, a comparação com as saídas desejadas e as ações de correção para se re-estabelecer o equilíbrio. O aprendizado de malha dupla implica em questionar e

se necessário, alterar o conjunto das saídas desejadas, e, para alcançá-lo, o Pensamento Sistêmico possui um papel fundamental.

Uma questão importante, segundo Savolainen e Haikonen (2007), é associar o tipo de aprendizado ao tipo de mudança que ele gera: o aprendizado de malha simples está relacionado às mudanças incrementais; o aprendizado de malha dupla está relacionado com as mudanças radicais nas organizações.

2.14 MÉTRICA DO SEIS SIGMA

A letra minúscula σ (sigma) do alfabeto grego é um símbolo utilizado na notação estatística para representar o desvio padrão de uma população.

Desvio padrão é uma medida da dispersão de uma população expressa na unidade de origem da variável (MONTGOMERY, 1997).

Existem algumas vantagens em se assumir uma perspectiva de variação, como, por exemplo, ajudar a entender muito melhor o desempenho real de uma empresa e seus processos. Até hoje muitas organizações medem e descrevem seus esforços em termos de médias, como custo médio, tempo de ciclo médio, etc. Mas, as médias podem, na verdade, esconder problemas disfarçando a variação, como no exemplo apresentado por Pande et al. (2002): Uma empresa que promete aos clientes atender aos pedidos em seis dias úteis, pode achar uma boa notícia saber que seu desempenho médio do pedido até a entrega está em 4,2 dias. Mas o valor médio pode não mostrar o fato de que, devido à ampla variação do processo, mais de 15% dos pedidos estão chegando com mais de 6 dias úteis, ou seja, com atraso. Para manter a média, muitos pedidos deveriam ser entregues em até 2 dias úteis. Uma boa alternativa seria reduzir a variação significativamente e poder alcançar um tempo médio de, por exemplo, 5 dias úteis sem nenhuma entrega atrasada.

O objetivo de se alcançar um desempenho Seis Sigma é o de reduzir ou estreitar a variação a um tal grau, que 6 σ – ou 6 desvios-padrão de variação – possam ser compreendidos a partir da média e os limites definidos pelas especificações do cliente (PANDE et al., 2002).

A Figura 21 representa como os 6σ são medidos a partir da média μ e cada limite especificado (LIE – limite inferior de especificação, LSE – limite superior de especificação).

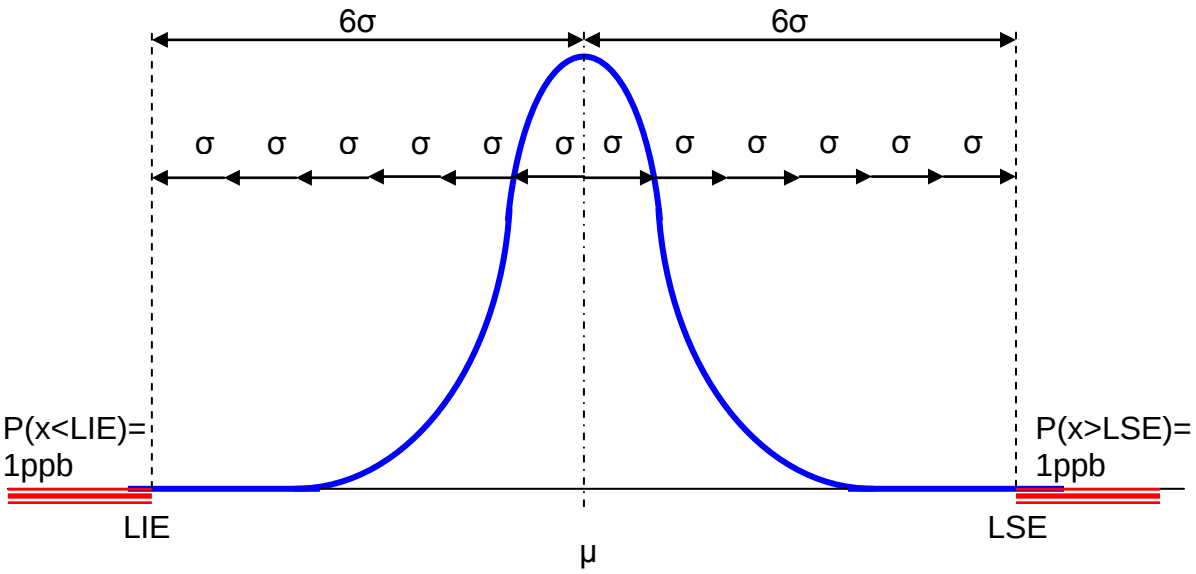


Figura 21 - Objetivo do Seis Sigma é de compreender 6σ (seis desvios padrão) entre a média μ e os limites superior e inferior de especificação.
Fonte: A autora

Neste caso, a probabilidade do valor da variável se apresentar acima do limite superior de especificação é de 1 parte por bilhão (1 ppb), ou seja, a cada um bilhão de itens produzidos ou serviços prestados, 1 estará fora do especificado. Do mesmo modo é a probabilidade da variável se encontrar abaixo do valor do limite inferior de especificação, ou seja, de 1ppb.

A GE verificou que um processo com desempenho 6σ no longo prazo pode sofrer um desvio na média, que normalmente é da ordem de 1,5σ. Portanto, quando a curva normal se desviar de 1,5σ no lado em que esse desvio ocorrer, a média se aproximará mais do limite de especificação, fazendo com que essa distância passe a ser de 4,5σ. Nesse caso, a probabilidade desse processo apresentar valores fora do valor especificado passa a ser de 3,4 ppm (a cada um milhão de itens produzidos ou serviços prestados, 3,4 estarão fora do especificado). Essa representação está na Figura 22.

Alan Larson, da Motorola, sugere uma outra maneira para medir o desempenho quando o problema não pode ser descrito como uma curva normal. Nesse caso, se inicia definindo claramente o que o cliente quer como exigência explícita, ou seja, quais as características críticas para a qualidade – CTQ (também chamadas de

resultados chave, ou Y do processo ou limites de especificação). O passo seguinte é contar o número de defeitos que ocorrem. A definição dada para defeitos é a seguinte: “Um defeito é qualquer instância ou evento no qual o produto ou processo falha em satisfazer um requisito do cliente” (PANDE et al., 2002).

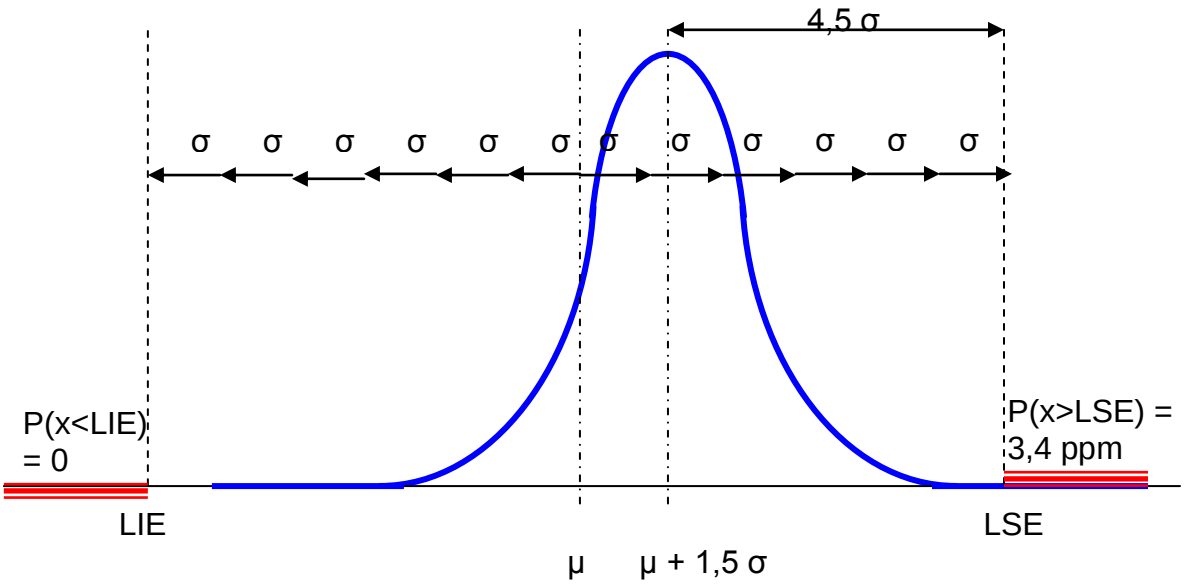


Figura 22 - No longo prazo um desempenho 6σ produz 3,4ppm de itens produzidos ou serviços prestados fora do especificado.
Fonte: A autora

Uma vez contados os defeitos, pode-se calcular o “rendimento” do processo (porcentagem de itens sem defeitos) e usar uma tabela prática (tabela z da curva normal padrão) para definir o “nível de sigma”. Os níveis sigma de desempenho também são expressos em “defeitos por milhão de oportunidades” – DPMO. O DPMO indica quantos erros surgiriam se uma atividade fosse repetida um milhão de vezes (PANDE et al., 2002).

2.15 EQUIPE SEIS SIGMA

Como as organizações são construídas ao redor das pessoas e de seu conhecimento, e não apenas das filosofias ou programas, o sucesso do Seis Sigma depende das pessoas que para essa finalidade são adequadamente treinadas (HARRY, 1998).

Um aspecto bastante importante do Seis Sigma é que ele, explicitamente, incorpora mudanças nos sistemas de gerenciamento, o que é demonstrado pela criação das posições dos agentes de mudança que trabalham em tempo integral ou parcial em função do programa (PYZDEK, 2003).

Segundo Pyzdek (2003), os especialistas em geral, concordam que as mudanças são normalmente difíceis, rompedoras, caras e grandes causadoras de erros. Mas, as organizações enfrentam essas dificuldades por vários motivos como, por exemplo, manter a liderança, manter a competitividade agregando valor aos produtos ou serviços, avançar tecnologicamente, cumprir novas regras e regulamentações, atender às demandas dos clientes, entre outras.

O trabalho de um agente de mudanças busca alcançar três objetivos (PYZDEK, 2003):

1) Mudar a maneira como as pessoas da organização pensam. Esta é a atividade básica e inicial do agente de mudança. Toda mudança começa no nível do indivíduo: a menos que este deseje mudar seu comportamento, nenhuma mudança real é possível. As mudanças no comportamento requerem mudanças no pensamento. Em uma organização onde se espera que as pessoas usem suas mentes, as ações são guiadas por seus pensamentos e conclusões.
2) Mudar as normas da organização. As normas consistem de padrões e modelos que guiam o comportamento em grupo. Todas as organizações possuem normas e as mudanças não ocorrem sem que estas mudem.
3) Mudar os sistemas ou processos da organização. Todo trabalho é um processo e a melhoria da qualidade necessita de mudanças no nível dos processos e sistemas. Entretanto, isso não pode ocorrer de modo sustentável sem que os indivíduos mudem seus comportamentos e a organização mude suas normas.

Para facilitar a atuação e o alcance dos objetivos dos agentes de mudança, a implementação do Seis Sigma deve ser feita de cima para baixo – *top down.*

Esses agentes de mudança que se tornam especialistas em medição, estatística e melhoria de processos, recebem denominações oriundas das artes marciais como *Black Belts* e *Green Belts.* Esse é um dos aspectos bem divulgados do Seis Sigma e que o diferencia dos outros programas de melhoria da qualidade.

Os papéis, em uma organização que segue o Seis Sigma, são normalmente os seguintes (PYZDEK, 2003):

- Executivo Líder. O Seis Sigma envolve mudanças nos macro processos de negócios que cruzam os vários departamentos e funções da organização. Ele provê meios pelos quais os objetivos estratégicos possam ser alcançados. Esse esforço deve ser liderado pelo Executivo Líder – *CEO*, que é o responsável pelo desempenho da organização como um todo.
- *Champion* (Campeão). É uma pessoa que ocupa uma alta posição na organização, que compreende o Seis Sigma e que está comprometido com o seu sucesso. Em grandes organizações, esse papel pode ser exercido em tempo integral por um vice-presidente. Líderes informais também podem exercer o papel de *Champions*.
- *Sponsor* (Patrocinador). É o dono de um processo ou sistema que auxilia o início e a coordenação das atividades do Seis Sigma em sua área de responsabilidades.
- *Master Black Belt* (Mestre Faixa Preta). Esse é o papel de mais alto nível de proficiência técnica e organizacional. Ele fornece liderança técnica ao programa Seis Sigma. Além do conhecimento que os *Black Belts* devem possuir, o *Master Black Belt* deve entender profundamente a teoria matemática sobre a qual os métodos estatísticos estão baseados. Deve possuir também excelente comunicação e habilidade de ensino.
- *Black Belt* (Faixa Preta). Deve estar ativamente envolvido no processo de mudança organizacional e desenvolvimento. Os candidatos a *Black Belt* são indivíduos tecnicamente orientados. Eles podem ser originários de várias áreas, não necessitando serem estatísticos ou analistas. Entretanto, como deverão lidar com várias ferramentas técnicas em curtos períodos de tempo, os candidatos a *Black Belt* provavelmente possuirão conhecimento matemático sobre as ferramentas básicas em análise quantitativa. Como treinamento, os *Black Belts* tipicamente recebem 160h de treinamento. Em seguida devem se responsabilizar por um projeto orientados por um *Master Black Belt* ou um consultor. Os *Black Belts* devem possuir familiaridade com computadores, planilhas, programas de apresentação e processadores de

texto. Como parte do treinamento deverão se tornar proficientes em pacotes de *software* estatísticos.

- *Green Belt* (Faixa Verde). São líderes dos projetos Seis Sigma, capazes de formar e facilitar as equipes, e gerenciar os projetos desde o início até o fim. O treinamento recebido tipicamente é de 80h. Normalmente os *Black Belts* auxiliam os *Green Belts* a definirem seus projetos antes do treinamento, acompanham o treinamento dos seus *Green Belts* e os auxilia nos projetos após o treinamento. Os *Champions* devem passar pelo mesmo treinamento dos *Green Belts.*

Nem todas as empresas que implementam o Seis Sigma se estruturam com todos esses papéis. Isso varia segundo o tipo de negócio e o tamanho da organização.

2.16 MODELOS DE MELHORIA

Muitos modelos de melhoria têm sido aplicados a processos desde que o movimento pela qualidade se iniciou. Muitos deles se basearam no ciclo PDCA – Planeje, Execute, Verifique, Atue (Plan, Do, Check, Act) – criado por Shewhart e disseminado por Deming. O ciclo PDCA está representado na Figura 23.

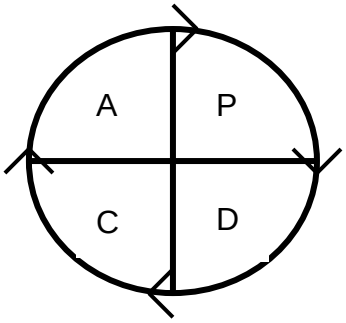


Figura 23 - Ciclo PDCA de Shewhart-Deming

Os objetivos das quatro etapas do PDCA são os seguintes (PANDE et al., 2002; SHIBA et al., 1997):

- Planeje. Avalie o desempenho atual procurando questões e lacunas. Colete dados sobre os problemas-chave. Identifique e estabeleça uma meta relativa a causas-raiz ou problemas. Invente soluções possíveis e planeje um teste de implementação da melhor solução potencial.

- Execute. Implemente o plano. Faça um teste piloto na solução planejada.
- Verifique. Meça os resultados do teste para ver se os resultados pretendidos estão sendo alcançados. Se surgirem problemas, busque as barreiras que estiverem obstruindo seus esforços de melhoria.
- Atue. Baseado na solução-teste e na avaliação, refine e expanda a solução para torná-la permanente e incorpore o novo método onde ele for aplicável. Reinicie.

Muito embora o PDCA tenha sido tão aplicado por anos, há quem o critique. Pyzdek (2003) cita que o PDCA descreve um ciclo de planejamento e aprendizado que só pode ser utilizado enquanto o sistema está ou em equilíbrio estável ou próximo dele. Pelo ciclo PDCA os planos são continuamente melhorados observando os resultados obtidos. Entretanto, o ciclo PDCA falha ao não considerar as atividades de outros agentes, que é uma característica dos sistemas complexos adaptativos; falha também ao não considerar as malhas de *feedback* positivo, que tornam o sistema dinâmico não linear, como é o caso da economia de mercado. Pyzdek sugere um modelo para sistemas dinâmicos não lineares: o SEA – *Select- Experiment- Adapt,* apresentado na Figura 24.

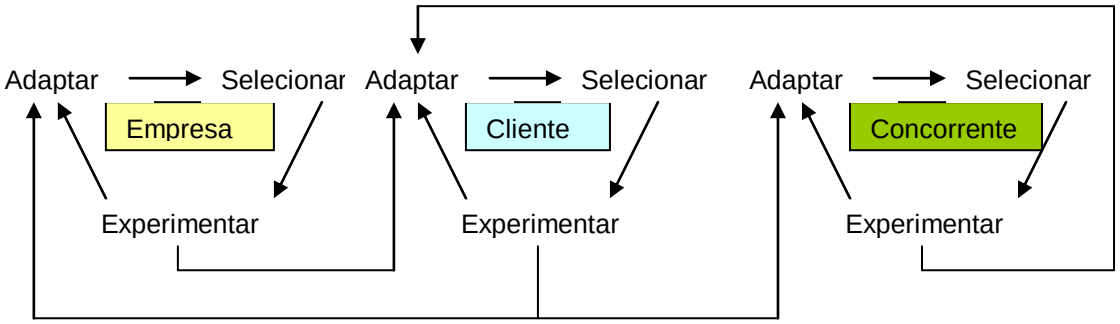


Figura 24 - Modelo SEA – *Select- Experiment- Adapt* para sistemas não lineares
Fonte: PYZDEK (2003)

Segundo Pyzdek (2003), na vida real a experimentação é uma constante. A experimentação envolve executar uma regra de desempenho ativada por uma mensagem recebida do ambiente. As pessoas observam algo, induzem algo e, baseadas no pensamento a respeito de observações passadas, decidem que curso de ação deve ser o mais benéfico. A adaptação ocorre ao se ajustar a regra de

desempenho baseada nos ganhos que no momento pode-se receber. A adaptação é uma característica da complexidade dinâmica.

Mas, esse processo, segundo Pyzdek (2003), não implica em aprendizado. Ele é apenas uma adaptação estratégica. O aprendizado envolve descobrir princípios que expliquem as razões pelas quais os ganhos crescem ou diminuem pela aplicação de dada regra de desempenho. O aprendizado permite que se pulem uma ou mais gerações do ciclo de adaptação. Um modelo que incorpora o aprendizado em um ambiente dinâmico é o SEL – *Select- Experiment- Learn,* apresentado na Figura 25.

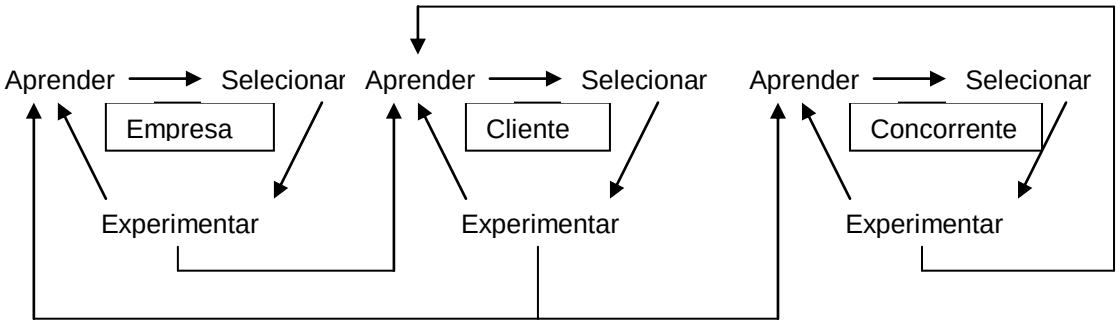


Figura 25 - Modelo SEL – *Select- Experiment- Learn* para sistemas dinâmicos
Fonte: PYZDEK (2003)

Resumindo, para PYZDEK (2003), quando o ambiente é dinâmico, os modelos SEA e SEL retomam o equilíbrio necessário para rodar o ciclo PDCA, introduzindo adaptação dinâmica (SEA) e aprendizado baseado em agentes (SEL). O esquemas baseados em controle centralizado (planejamento) devem ser alterados para auto-controle ou controle local. Considerando o Seis Sigma, as atividades devem empregar todas as três estratégias de melhoria da seguinte maneira:

- O SEA se aplica seguindo a estratégia Min/Max: minimize o planejamento e controle central na maior extensão possível. Permita aos empregados a máxima liberdade para mudanças no seu ambiente e processo de trabalho em busca de melhores maneiras de se fazer as coisas;
- Quando o processo é influenciado por malhas de *feedback* positivo, geradas por outros agentes, aplique os modelos SEA e o SEL. Elimine o planejamento estratégico de longo prazo e lute para cultivar um ambiente com a máxima habilidade para se adaptar às mudanças;
- Aplica-se o PDCA quando os processos estão próximos do equilíbrio e não são influenciados por malhas de *feedback* positivo.

2.17 MODELO DMAIC

No Seis Sigma as ferramentas são aplicadas dentro de um modelo de melhoria do desempenho conhecido como *Define- Measure- Analyze- Improve- Control*, em português Definir- Medir- Analisar- Melhorar- Controlar, ou DMAIC, que é descrito brevemente na Tabela 3.

O DMAIC é utilizado quando um objetivo de projeto pode ser alcançado melhorando um produto, processo ou serviço existente (PYZDEK, 2003).

Todas as etapas do DMAIC são amplamente discutidas por vários autores (PANDE et al., 2002; PYZDEK, 2003; ROTONDARO, 2002; WERKEMA, 2002) e não é intenção neste documento apresentá-las em profundidade. A seguir serão citados apenas os objetivos de cada etapa.

D	Definir os objetivos da atividade de melhoria
M	Medir o sistema existente
A	Analisar o sistema para identificar maneiras de eliminar as lacunas entre o desempenho atual do sistema ou processo e o objetivo desejado
I	Melhorar o sistema
C	Controlar o novo sistema

Tabela 3 - DMAIC
Fonte: Pyzdek (2003)

2.17.1 Etapa Definir

Nesta etapa são definidos os objetivos da atividade de melhoria. Os objetivos devem ser obtidos pelo contato direto com os clientes, acionistas e empregados. Os objetivos mais importantes são aqueles advindos dos clientes. No topo da organização, os objetivos são de natureza estratégica, tais como, aumentar a fidelidade dos clientes, aumentar o retorno de investimentos, aumentar a fatia de participação no mercado, aumentar a satisfação dos empregados, entre outros. No

nível operacional, um exemplo de objetivo poderia ser o de aumentar o rendimento de um departamento de produção. Já em projetos, um objetivo poderia ser reduzir a quantidade de defeitos e aumentar o rendimento de determinado processo (PYZDEK, 2003).

2.17.2 Etapa Medir

Nesta etapa deve-se medir o sistema. São estabelecidas métricas válidas e confiáveis para auxiliar a monitoração do progresso a ser atingido nos objetivos definidos na etapa Definir (PYZDEK, 2003).

2.17.3 Etapa Analisar

Na etapa Analisar busca-se identificar maneiras de eliminar as lacunas entre o desempenho atual do sistema ou processo e o objetivo desejado. São realizadas análises exploratórias e descritivas para auxiliar o entendimento dos dados. Ferramentas estatísticas são usadas para guiar a análise (PYZDEK, 2003).

2.17.4 Etapa Melhorar

Nessa etapa se executam as melhorias no sistema. É importante ser criativo de modo a tornar melhores, mais baratos ou rápidos os processos ou produtos selecionados. O gerenciamento de projetos e outras ferramentas de planejamento e gerenciamento devem ser usados para implementar a nova abordagem. Métodos estatísticos devem ser usados para validar a melhoria (PYZDEK, 2003).

2.17.5 Etapa Controlar

Nessa etapa são coletados dados que, quando comparados contra uma referência, permitem que se estabeleça o monitoramento e o controle do novo sistema. Quando comprovada a eficácia das ações tomadas, o sistema melhorado deve ser institucionalizado por meio de modificações no sistema de incentivo e compensação, políticas, procedimentos, MRP, *budgets*, instruções operacionais e outros sistemas de gerenciamento. Deve-se utilizar padronizações, por exemplo, ISO9000, para assegurar que a documentação esteja correta. Deve-se utilizar ferramentas estatísticas para monitorar a estabilidade do sistema (PYZDEK, 2003).

2.18 PRINCIPAIS FERRAMENTAS UTILIZADAS NO DMAIC

.

Várias publicações sobre Seis Sigma dedicam parte de seu conteúdo à apresentação das principais ferramentas utilizadas nas etapas do DMAIC (BREYFOGLE III, 1999; PANDE et al., 2002; PYZDEK, 2003; ROTONDARO, 2002; WERKEMA, 2002). Algumas ferramentas são, por vezes, indicadas para serem utilizadas em mais de uma etapa, o que demonstra que há uma superposição entre elas. De modo geral são aplicadas como demonstrado na Tabela 4.

Fase do projeto	Principais ferramentas utilizadas
Definir	Dados internos da Empresa Dados dos Clientes Contrato do Projeto Ferramentas para levantamento da Voz do Cliente (*surveys,* grupo foco, cartas, etc.) Fluxograma do processo Análise de Séries Temporais QFD – *Quality Function Deployment* SIPOC – *Supplier, Input, Process, Output, Customer* Benchmarking

Medir	MSA – *Measurement System Analysis* Capacidade do Processo Estatística Descritiva Histograma *Box Plot* Diagrama de Dispersão Pareto
Analisar	Diagrama de Causa e Efeito *Brainstorming* Controle Estatístico de Processo e Gráficos de Controle Análise Multivariada DOE – *Design of Experiments* Análise de Correlação e de Regressão Provas de Significância Estatística (Qui-quadrado, teste-t e Análise de Variância) FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* Dispositivo à Prova de Falhas – *Poka Yoke* Simulação
Melhorar	Ferramentas de Planejamento e Gerenciamento de Projetos Protótipos Pilotos Manufatura Enxuta - *Lean*
Controlar	Novos Procedimentos Reuniões Palestras Controle Estatístico de Processo e Gráficos de Controle FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* ISO9000

Tabela 4 - Ferramentas utilizadas nas etapas do DMAIC

Hagemeyer e Gershenson (2006) apresentam uma vasta lista de ferramentas tipicamente utilizadas no Seis Sigma e sugerem como os próprios *belts* podem

construir uma matriz para o uso mais eficiente e eficaz das ferramentas ao longo das etapas do DMAIC.

Ward e Poling (2007) sugerem o uso de cartas de controle já nas etapas Medir e Analisar e não apenas na etapa Controlar, de modo a apresentar o comportamento do processo ao longo do tempo. Dessa maneira é possível avaliar melhor se as alterações no processo provêm de causas comuns ou especiais.

Halowell (2005) cita que as ferramentas do Seis Sigma do tipo causa e efeito, tais como, diagrama de árvore, auxiliam muito na identificação dos fatores (Xs) responsáveis pela alteração do resultado na variável de interesse (Y). No entanto, há ocasiões em que essa hierarquia em duas dimensões não comporta a natureza entrelaçada dos fatores e suas inter-relações. Ele sugere o uso de Diagramas de Enlace Causal para melhor refletir a realidade.

Entre todas as ferramentas citadas na Tabela 4 será dada uma atenção especial e será em seguida apresentado o Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido por Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Espinha de Peixe. Isso porque na introdução deste documento fora dito que o argumento principal do trabalho de tese era o de que os projetos de melhoria da qualidade Seis Sigma apresentavam resultados superiores quando se aliavam métodos qualitativos aos métodos quantitativos e ao pensamento estatístico normalmente utilizados. Devido a isso, o Diagrama de Enlace Causal será usado preferencialmente ao Diagrama de Causa e Efeito na análise de causa e efeito nos projetos estudados no trabalho da tese.

2.18.1 Análise Crítica do Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta que foi criada por Kaoru Ishikawa, então professor da Universidade de Tóquio, que a utilizou pela primeira vez em 1953, na discussão de um problema de qualidade em um ambiente fabril. Ao provar sua utilidade, a ferramenta passou a ser amplamente utilizada entre as empresas do Japão (KUME, 1993).

O Diagrama de Causa e Efeito foi concebido para mostrar a relação entre uma característica da qualidade e seus fatores. Atualmente é utilizado no mundo todo,

em vários campos e não apenas para lidar com as características de qualidade dos produtos (KUME, 1993).

A estrutura do Diagrama de Causa e Efeito está apresentada na Figura 26.

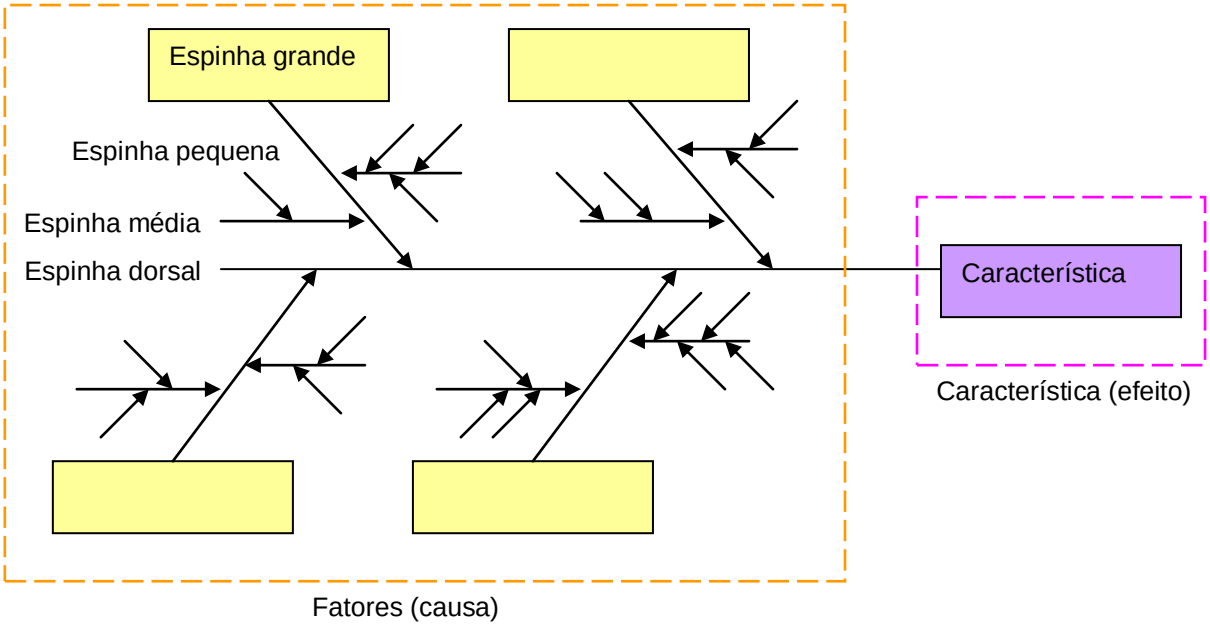


Figura 26. Diagrama de Causa e Efeito.
Fonte: Adaptado de Kume (1993)

O procedimento para construir o Diagrama de Causa e Efeito para levantamento sistemático das causas é o seguinte (KUME, 1993):

1. Estabelecer a característica da qualidade.
2. Encontrar o maior número possível de causas suspeitas em afetar a característica da qualidade.
3. Excluir as relações entre as causas e elaborar um diagrama de causa e efeito ligando essas causas com a característica da qualidade através das relações de causa e efeito. Para levantar as causas sugere-se o *brainstorming*.
4. Estipular a importância de cada fator e destacar os particularmente importantes.
5. Registrar quaisquer informações necessárias.

Algumas sugestões são fornecidas por Kume (1993) para a construção do Diagrama de Causa e Efeito, entre elas, escolher característica e fatores mensuráveis, pois após completar o diagrama é necessário avaliar a intensidade das relações de causa e efeito. Portanto, a característica e os fatores devem ser mensuráveis.

Quando for impossível medi-los, deve-se encontrar características alternativas passíveis de atribuição de valor numérico.

Para a autora deste documento, a necessidade de considerar apenas causas mensuráveis limita a modelagem do problema, visto que, em um sistema real, muitas variáveis podem ser qualitativas. Outro ponto questionável da ferramenta, sob a óptica do pensamento sistêmico, é o fato de não serem avaliadas as relações entre as causas, conforme o item 3 do procedimento para construção do diagrama.

Segundo Turner (1997), a teoria dos sistemas considera a relação de causa e efeito mais complexa que o modelo linear simples que é apresentado no Diagrama de Causa e Efeito, o que torna essa ferramenta limitada para modelar um sistema. Ele sugere um método que combina o pensamento sistêmico com os *insights* do diagrama, ou seja, após a elaboração do Diagrama de Causa e Efeito é feita uma avaliação sobre que tipo de realimentação, se positiva ou negativa, o efeito gera sobre cada uma das causas das espinhas grandes. São também estimados os atrasos que porventura existam nas malhas.

Muito embora o método de Turner busque dar ao Diagrama de Causa e Efeito uma visão mais dinâmica, a relação entre as causas ainda se mantém excluída.

Rushing (2007) sugere que se utilize o Diagrama de Enlace Causal da Dinâmica de Sistemas nos projetos Seis Sigma para visualizar intrincados processos de obtenção de causa raiz. Segundo ele, o Diagrama de Enlace Causal, quando elaborado adequadamente, permite aos *Black Belts* ou gerentes terem uma visão de sistemas que contenham muitos processos.

3 MODELO DUMAIC

Harry e Schroeder (2000) citam que o Seis Sigma é um empreendimento arriscado na solução de um problema: a identificação de um problema é simples quando comparada com a definição das causas que estão por trás do mesmo, visto que as causas subjacentes são mascaradas por camadas de relatórios financeiros, dados irrelevantes, ou vieses culturais da organização.

Existem casos, entretanto, onde até a identificação do problema não é uma tarefa simples. São os casos dos problemas confusos ou situações confusas, em que cada um dos envolvidos enxerga o problema de modo diferente, conforme cita Vennix (1996, 1999).

Para Kaufmann e Chieh (2005), melhorias em locais bem definidos levam a grandes resultados para a organização, o que significa, em poucas palavras, que é tudo uma questão de acertar na escolha dos projetos Seis Sigma. Mas não é sempre tarefa fácil escolher os projetos que produzirão níveis altos de alavancagem no sistema global, pois o corpo de conhecimento atual do Seis Sigma não contém nenhum método de pensamento que ensine os *Belts* a localizarem as áreas de mudança que proporcionem alta alavancagem.

Outro fator complicador é que, nos dias atuais, as situações de turbulência tornaram-se mais regra do que exceção, o que favorece o crescimento de problemas e situações confusas e complicadas. Daí pode-se imaginar que, se existem muitos exemplos de organizações que podem relatar grandes ganhos com o Seis Sigma, devem existir outros tantos casos não publicados em que os resultados são irrisórios.

Visto que os resultados abaixo do esperado do TQM foram atribuídos à falta de visão sistêmica (ACKOFF, 1993; CONTI, 2005) e já se coloca que o Pensamento Sistêmico é um elemento importante para a prática do Seis Sigma (BREYFOGLE, 2005), o objetivo deste trabalho é o de propor um modelo em que os *Belts* possam integrar ferramentas de desenvolvimento do Pensamento Sistêmico às etapas de implantação dos seus projetos Seis Sigma.

Para integrar o Pensamento Sistêmico aos Projetos Seis Sigma, a abordagem escolhida neste projeto de pesquisa foi a utilização de Diagramas de Enlace Causal, que são ferramentas da Dinâmica de Sistemas Qualitativa, desenvolvidos pelas equipes dos projetos. Os Diagramas de Enlace Causal serão utilizados para identificação das principais variáveis geradoras de complexidade dinâmica nos sistemas.

É proposto um modelo denominado DUMAIC que são as iniciais de *Define* – ***Understand*** – *Measure* – *Analyze* – *Improve* – *Control*, em português, Definir – **Entender** – Medir – Analisar – Melhorar – Controlar. Como se percebe, no DUMAIC há a inserção da fase denominada *Understand* - Entender ao habitual modelo DMAIC. O interesse da pesquisa é demonstrar que o DUMAIC é aplicável e traz benefícios aos projetos Seis Sigma em sistemas ou processos que apresentem características de complexidade dinâmica.

Na realidade, a identificação das causas de um problema real não é uma tarefa trivial. Em primeiro lugar, existem as várias interconexões ou malhas de realimentação (*feedbacks*) entre as variáveis dos sistemas dinâmicos que confundem o julgamento das causas. Em segundo lugar, ao julgar causa e efeito, normalmente se considera a proximidade de tempo e espaço entre os dois, o que nem sempre é verdade, pois na presença de atrasos (*delays*), usualmente presentes, as causas e efeitos podem se encontrar muito distantes no tempo e no espaço, o que não costuma ser óbvio.

A diferença principal entre o DUMAIC e o DMAIC é o fato de que algumas ferramentas de análise de causa e efeito que se baseiam na visão por eventos, utilizadas no DMAIC, como é o caso do Diagrama de Causa e Efeito, são substituídas no DUMAIC por um modelo construído em grupo com foco na visão sistêmica. O *Black Belt* responsável pelo projeto ou que orienta o *Green Belt* deverá atuar como facilitador para que a equipe utilize um método de pensamento na aplicação do DUMAIC. Somente depois de realizar as ações da fase Entender do DUMAIC, onde serão identificadas as prováveis variáveis que geram a dinâmica do processo, a equipe prosseguirá com as medições sobre essas variáveis, nas atividades da fase Medir.

O objetivo da fase Entender é criar entendimento das inter-relações das variáveis do sistema. Para tanto, a fase Entender insere as ações a seguir:

Ação 1) Ainda na fase Definir, verificar se há algum indício da existência do arquétipo “Transferência de Responsabilidade” junto à equipe do Projeto Seis Sigma e identificar o arquétipo solução com um ponto de alta alavancagem;

Ação 2) Se o problema apresentar complexidade dinâmica, construir o modelo em Diagrama de Enlace Causal, em grupo na etapa Medir.

3.1 FLUXOGRAMA DO DUMAIC

O fluxograma de implementação do DUMAIC é apresentado na Figura 27.

3.2 ARQUÉTIPO “TRANSFERÊNCIA DE RESPONSABILIDADE” OU *SHIFTING THE BURDEN*

Coughlan e Coghlan (2002) citam que a idéia central da Pesquisa Ação é usar uma abordagem científica para estudar a resolução de uma importante questão social ou organizacional junto às pessoas que vivem essas questões diretamente.

Uma questão importante que se observa junto às organizações é que existem comportamentos comuns que ocorrem no momento em que as equipes analisam as causas de um problema para tomarem uma decisão e implantarem alguma ação de correção ou de melhoria. Os erros mais comuns são: 1) muitas vezes é considerado o sintoma do problema ao invés do problema propriamente dito, e o grupo busca uma solução para esse sintoma (KAUFMANN; CHIEH, 2005); 2) muitas vezes é atacado o problema, mas é aceita a primeira solução que foi imaginada ou é aceita a solução mais fácil de ser implementada, ou então a de menor custo.

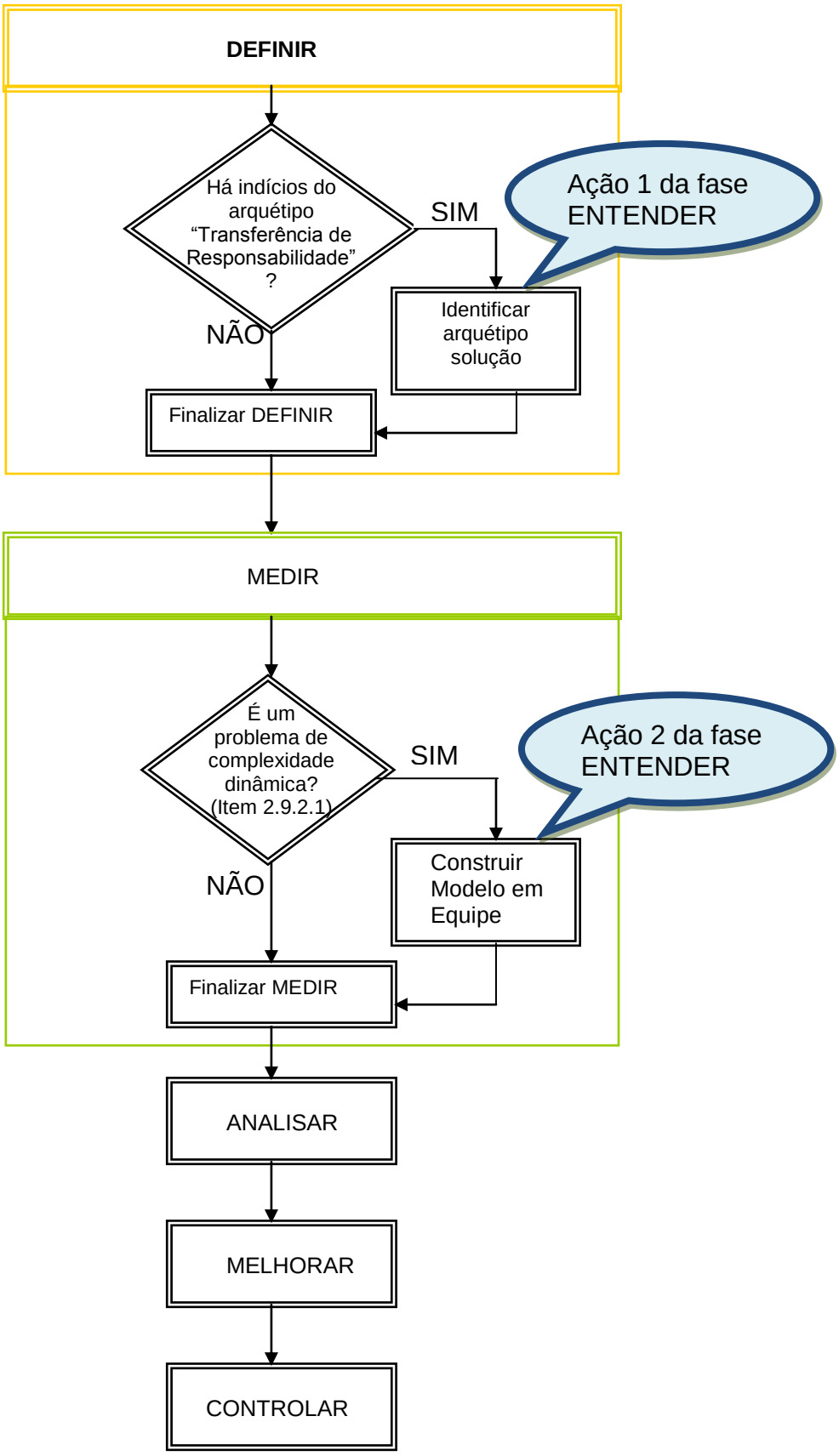


Figura 27. Fluxo do modelo DUMAIC
Fonte: A autora

O resultado que se obtém desses comportamentos é a persistência do problema, visto que a solução fundamental capaz de sanar o problema não é implementada. Diante da persistência do problema, a resposta habitual do grupo é insistir ainda mais e reforçar a ação anteriormente tomada, ou seja, aumentar a “dose do mesmo remédio”.

Esse comportamento é representado pelo arquétipo “Transferência de Responsabilidade” ou *Shifting the Burden* (SENGE, 2002; WOLSTENHOLME, 2003, 2004).

Como esse é um comportamento que se observa também junto às equipes Seis Sigma, visto que muitas vezes as organizações escolhem abrir projetos para resolver problemas que persistem em continuar, mesmo quando ações anteriores já tenham sido tomadas, o modelo DUMAIC fará uma verificação se esse arquétipo está acontecendo junto à equipe. Essa verificação será feita através de uma investigação confrontadora, que, segundo Schein (1999, Process consultation, action research and clinical inquiry, are they the same? *Journal of Managerial Psychology,* Vol.10, n.6, pp.14-19. Apud Coughlan e Coghlan, 2002, p. 233) é aquela quando o pesquisador divide com os outros suas próprias idéias e desafia-os a pensar através de uma nova perspectiva.

A necessidade da investigação confrontadora decorre do fato de que, muitas vezes a solução fundamental, ou seja, aquela que alavancará a mudança com melhoria duradoura e significativa, é desconhecida do grupo que analisa o problema, devido aos próprios modelos mentais existentes. Nas organizações, esse fato é, em grande parte, fortalecido pelas fronteiras entre departamentos, também chamadas de silos departamentais.

Na prática, na Ação 1 da fase Entender, algumas perguntas devem ser feitas pelo facilitador à equipe, de modo a propor mudanças de foco e escopo no problema em estudo.

3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO EM EQUIPE

Outra ação introduzida na fase Entender do DUMAIC e que o diferencia do DMAIC, é que a análise de causa e efeito é feita usando-se o Diagrama de Enlace Causal e não o Diagrama de Causa e Efeito. O fato de levar em conta a complexidade dinâmica faz com que as ferramentas a serem utilizadas tornem explícita a existência das inter-relações entre as variáveis, das malhas de realimentação e dos atrasos do sistema, o que não é representado adequadamente pelo Diagrama de Causa e Efeito.

Se o sistema apresentar pelo menos uma das características de Complexidade Dinâmica, apresentadas no item 2.9.2.1 deste documento, parte-se para a Ação 2 da fase Entender, ou seja, ainda na fase Medir, constrói-se, em grupo, um modelo qualitativo do mesmo.

Um *Black Belt* ou um *Green Belt* experiente terá um papel fundamental na construção do modelo qualitativo, pois atuará como facilitador da equipe de projeto nessa atividade conforme descrito anteriormente nesse documento.

Um ponto forte no DUMAIC é que o Diagrama de Enlace Causal é construído pela equipe de projeto Seis Sigma e não por um consultor, como em boa parte dos modelos qualitativos elaborados em Dinâmica de Sistemas. Essa abordagem aumenta tanto a visão compartilhada da equipe sobre o problema, como também o comprometimento da mesma na implementação das ações de melhoria. Apenas a primeira versão do Diagrama de Enlace Causal é desenvolvida pelo facilitador para servir de ponto de partida para o trabalho de modelagem, o que, segundo Vennix (1996), é uma maneira de acelerar o processo de construção de modelo em grupo.

A construção do modelo em equipe consta dos seguintes passos:

<u>Passo1</u>: Analisar a documentação existente sobre o comportamento temporal do CTQ do problema

O *Black Belt* ou um *Green Belt* experiente (na seqüência deste capítulo, essa citação "ou um *Green Belt* experiente" não será mais colocada, apenas para simplificar o texto) levantará gráficos de série temporal e dados descritivos que indiquem o comportamento da variável de saída Y ou CTQ do problema. Os gráficos representam os Modos de Referência, os quais indicarão qual é o padrão de comportamento do problema, como e quando surge, como se propaga na linha do tempo e como deverá se comportar no futuro. Por intermédio dos modos de referência, o *Black Belt* pode, em alguns casos, verificar se há algum tipo de

estrutura conhecida que possa gerar esse comportamento. Essa análise indicará os tipos de malhas de realimentação que podem existir no sistema e ajudará na elaboração do Diagrama de Enlace Causal.

Passo 2: Apresentar os conceitos de Dinâmica de Sistemas Qualitativa para a equipe do projeto

O *Black Belt* deverá apresentar os conceitos da Dinâmica de Sistemas Qualitativa para a equipe de projeto, pois é muito provável que as pessoas não os conheçam. Uma apresentação de cerca de uma a duas horas costuma ser suficiente para atender a essa finalidade. Os conceitos que devem ser abordados são: Modelos Mentais, Atraso, Malhas de Realimentação - *Feedback*, Complexidade Dinâmica, Pensamento Sistêmico, Dinâmica de Sistemas Qualitativa e Diagrama de Enlace Causal. Quanto à formação dos *Black Belts,* propõe-se que, nos cursos específicos do Seis Sigma para os *Black Belt,s* esses conceitos sejam introduzidos.

Passo 3: Realizar entrevistas

O *Black Belt* deverá realizar entrevistas individuais com os participantes da equipe do projeto a fim de explicitar os modelos mentais.

Neste momento, o tipo de investigação a se utilizar é a investigação pura, que segundo Schein (1999, Process consultation, action research and clinical inquiry, are they the same? *Journal of Managerial Psychology,* Vol.10, n.6, pp.14-19. Apud Coughlan e Coghlan, 2002, p. 233) é quando o pesquisador investiga o que está acontecendo e ouve cuidadosamente e com neutralidade. As perguntas são do tipo: “O que está acontecendo?”, “Conte-me o que aconteceu”.

O objetivo de se realizar entrevistas individuais é permitir que cada participante da equipe de projeto possa externar a sua visão sobre o problema em questão sem que outras pessoas da equipe interfiram. O *Black Belt* deve assumir uma posição neutra durante a entrevista, de modo que o entrevistado exponha suas crenças a respeito de como o problema ocorre, de quais são as variáveis que estão interferindo na situação e causando o problema, sem estar sujeito a críticas. Ao término das entrevistas, além do levantamento de dados inerentes ao problema, o *Black Belt* terá o mapeamento de todos os modelos mentais envolvidos.

Passo 4: Preparar o *workbook*

Baseado no modo de referência do padrão do comportamento do CTQ do problema, nos dados coletados e nos modelos mentais explicitados nas entrevistas individuais, o *Black Belt* deve preparar um *workbook,* em alusão ao documento citado por Vennix (1996) e Vennix e Gubbels (1994), para ser discutido com o grupo, onde são apresentados os seguintes itens: o nome do projeto e descrição, o gráfico temporal do modo de referência, hipóteses sobre a relação existente entre pares de variáveis que sejam percebidas como importantes para o sistema e um Diagrama de Enlace Causal inicial onde todas as variáveis são colocadas juntas, assim como as suas inter-relações. Esse diagrama deve representar o sistema tal como ele é (*As Is*) e não como deveria ser e é a representação inicial sobre a qual a equipe elaborará um modelo consensual do problema. O *Black Belt* atuará como facilitador junto aos integrantes da equipe de modo que todos tenham a mesma visão do problema ao término dessa etapa. Para facilitar a elaboração deste *workbook* sugere-se que ele seja realizado do fim para o começo, ou seja, que primeiro seja desenhado o diagrama e depois cada um dos relacionamentos seja colocado em destaque na parte inicial do documento.

Passo 5: Responder questões do *workbook*

Nessa atividade, a ser cumprida pelos integrantes da equipe Seis Sigma, cada elemento da equipe irá validar ou contestar a relação causal proposta para cada par de variáveis, estando livre para colocar comentários adicionais. O mesmo processo de validação também deverá ser aplicado ao Diagrama de Enlace Causal, que consta no final do *workbook*. Cada integrante da equipe Seis Sigma deve entregar para o *Black Belt* o seu documento respondido individualmente. Um exemplo de relação causal é apresentado na Figura 28.

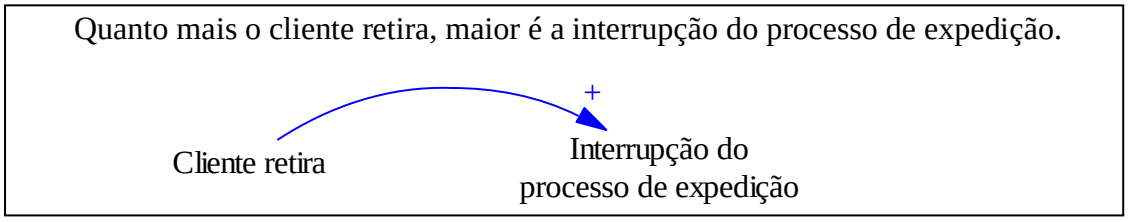


Figura 28 - Representação de relacionamento causal entre duas variáveis.
Fonte: A autora

Passo 6: Ajustar o modelo qualitativo segundo as respostas individuais do *workbook*. Em reunião de trabalho, coordenada e facilitada pelo *Black Belt*, todos os integrantes do projeto Seis Sigma trabalharão no ajuste do modelo qualitativo, representado pelo Diagrama de Enlace Causal, a fim de que ele expresse o problema da melhor maneira possível.

Passo 7: Atualizar o *workbook*

Cabe agora ao *Black Belt* revisar o modelo qualitativo segundo as observações levantadas na reunião em grupo. Nessa etapa alterações que possam ser importantes, como por exemplo, a inclusão de malhas de realimentação ou de variáveis que não tenham sido observadas pela equipe, devem ser inseridas pelo *Black Belt*.

Passo 8: Repetição dos passos 5, 6 e 7 até a concordância consensual da equipe

Nessa etapa, os passos 5, 6 e 7 são repetidos iterativamente até que toda a equipe concorde com o modelo proposto. Quando o modelo for considerado suficientemente ajustado o *Black Belt e* a equipe Seis Sigma podem considerar o Diagrama de Enlace Causal como finalizado.

Passo 9: Tirar conclusões do modelo e continuar com o DUMAIC

Com a finalização do modelo construído em equipe, a fase Entender do DUMAIC estará terminada, identificando quais são as variáveis que interferem e quais são as malhas de realimentação que geram o comportamento dinâmico do sistema. Essas informações serão úteis na seqüência da fase Medir do projeto Seis Sigma, pois os valores das variáveis assim determinadas poderão ser acompanhados e coletados.

Ocasionalmente encontram-se malhas que são compartilhadas por outros projetos em andamento, o que pode levar a situações onde os trabalhos de otimização de um projeto levam à desestabilização de outro projeto. Cabe ao *Black Belt* compartilhar o conflito de modo que os esforços de correção por um grupo não se contraponham aos esforços de outro grupo.

Um resumo dos passos de construção do modelo em equipe nos projetos Seis Sigma é apresentado na Tabela 5.

Passo	Atividade	Responsável
1	Analisar a documentação existente sobre o comportamento temporal do CTQ do problema	*Black Belt* (facilitador)
2	Apresentar os conceitos de Dinâmica de Sistemas para a equipe do projeto	*Black Belt* (facilitador)
3	Realizar entrevistas individuais com os participantes da equipe do projeto a fim de explicitar os modelos mentais	*Black Belt* (facilitador)
4	Preparar o *workbook*	*Black Belt* (facilitador)
5	Responder questões do *workbook*	Equipe Seis Sigma
6	Em reunião com a equipe do projeto: ajustar modelo qualitativo, segundo observações do *workbook*	Equipe Seis Sigma e *Black Belt*
7	Atualizar o *workbook*	*Black Belt* (facilitador)
8	Repetir os passos 5, 6 e 7 até a concordância consensual da equipe	
9	Tirar conclusões do modelo e continuar com o DUMAIC	Equipe Seis Sigma e Black Belt

Tabela 5. Passos da construção do modelo em equipe e responsáveis pelas atividades
Fonte: A Autora

A partir desse ponto as fases Medir, Analisar, Melhorar e Controlar do DUMAIC seguem como as do DMAIC.

3.4 BENEFÍCIOS DO DUMAIC

Os benefícios em se usar o DUMAIC são os seguintes:

- Desenvolvimento metódico da visão sistêmica do problema: Durante a montagem dos diagramas de Enlace Causal, ficam visíveis quais são os entrelaçamentos entre as variáveis do sistema e sua inter-relação com as variáveis dos sistemas adjacentes. Esse macro entendimento auxilia na

identificação de soluções de melhoria com efeitos de longo prazo, onde a interferência entre sistemas pode ser avaliada. Na fase Medir e Analisar serão inseridas as variáveis que promovam alta alavancagem e que de início são variáveis não óbvias aos participantes da equipe.

- Identificação de objetivos conflitantes entre projetos Seis Sigma: Através dos entrelaçamentos é possível identificar se o alcance do objetivo de melhoria de um determinado projeto irá influenciar negativamente em outro projeto.
- Incentivo para o trabalho em equipe: O desenvolvimento do modelo qualitativo do sistema para identificar relacionamentos entre as variáveis é desenvolvido pela própria equipe Seis Sigma, o que a direciona a trabalhar de modo integrado.
- Incentivo à explicitação dos modelos mentais de cada membro da equipe: Na realização do Diagrama de Enlace Causal, todos os elementos da equipe são incentivados a apresentarem seus modelos mentais e suas crenças a respeito das redes de causa e efeito que descrevem o sistema ou processo.
- Entendimento compartilhado entre os membros da equipe: Durante a elaboração do modelo qualitativo, todos os membros da equipe passam a ter o mesmo entendimento a respeito da estrutura do sistema.
- Aumento do comprometimento dos membros da equipe na implantação nas ações de melhoria: Uma vez que o modelo qualitativo é construído pela equipe Seis Sigma, todos se sentem comprometidos a implementar as ações para a melhoria do projeto.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo será dedicado à metodologia adotada para a realização deste trabalho bem como aos resultados da aplicação do modelo. Entre as várias metodologias de pesquisa existentes a considerada mais adequada, foi a Pesquisa Ação, pois o que se propõe está relacionado com mudanças na prática de projetos Seis Sigma, obtendo aprendizado e geração de conhecimento durante essa ação.

4.1 PESQUISA AÇÃO

Coughlan e Coghlan (2002) citam que a Pesquisa Ação é:

- Uma pesquisa em ação, ao contrário de uma pesquisa sobre a ação. A idéia central é que a Pesquisa Ação use uma abordagem científica para estudar a resolução de uma questão social ou organizacional junto às pessoas que vivem essas questões diretamente. O desenvolvimento da Pesquisa Ação se dá através de um processo cíclico que contém as seguintes etapas: planejar, tomar ação, avaliar a ação, planejar novamente e recomeçar o ciclo.
- Participativa. Os membros do sistema em estudo participam ativamente do processo cíclico citado anteriormente. Essa participação contrasta com outras metodologias de pesquisa onde os membros do sistema são objetos do estudo.
- Concorrente com a ação. O objetivo é tornar a ação eficaz e simultaneamente construir um corpo de conhecimento científico.
- Uma seqüência de eventos e uma abordagem de resolução de problemas. Como uma seqüência de eventos, a Pesquisa Ação compreende ciclos iterativos de levantamento de dados, alimentação aos interessados, análise dos dados, planejamento da ação, tomada de ação e avaliação, o que leva a mais levantamento de dados e assim por diante. Como uma abordagem de resolução de problemas ela é uma aplicação do método científico de se ter um fato, de experimentar em problemas práticos, de requerer ações de

> solução e de envolver a colaboração e cooperação de pesquisadores e membros do sistema organizacional. O que se deseja de uma Pesquisa Ação não é apenas uma solução para o problema imediato, mas um importante aprendizado sobre as conseqüências intencionais e não intencionais e uma contribuição ao conhecimento científico e à teoria.

A Pesquisa Ação originou-se nos trabalhos de Kurt Lewin em meados da década de 1940. Ela surgiu em um ambiente baseado no *empowerment*, na mudança, na obtenção de *momentum* a partir de contextos e culturas (ZUBER-SKERRIT; FLETCHER, 2007).

Nas décadas seguintes a Pesquisa Ação se desenvolveu graças aos trabalhos a respeito de desenvolvimento organizacional nos Estados Unidos, sobre o trabalho da democracia industrial na Escandinávia, ao trabalho sócio-técnico do Instituto Tavistock no Reino Unido (COUGHLAN; COGHLAN, 2002).

Muitos pesquisadores aprendem durante a sua formação como fazer uma pesquisa quantitativa, mas não como fazer uma pesquisa qualitativa. A Pesquisa Ação é predominantemente qualitativa e, portanto, para muitos pesquisadores, ela representa um novo e excitante empreendimento (ZUBER-SKERRIT; FLETCHER, 2007).

A Pesquisa Ação não tem como objetivo fazer grandes levantamentos de dados de amostras de população para fazer previsões de tendência ou generalizações sobre passado e futuro. Ao contrário, ela trabalha a fundo com grupos relativamente pequenos de participantes, interessados, motivados, que tenham conhecimento, queiram resolver seu problema e melhorar sua situação. A Pesquisa Ação requer um estudo profundo, detalhado do caso sob investigação e usa métodos tais como entrevistas, discussões em grupo, grupo de foco, técnica nominal de grupo, reflexões diárias, para coletar e analisar dados de indivíduos e dos grupos (ZUBER-SKERRIT; FLETCHER, 2007).

4.2 JUSTIFICATIVA DO USO DA PESQUISA AÇÃO

Justifica-se o uso da Pesquisa Ação na aplicação do modelo DUMAIC nos projetos Seis Sigma, pois:

- A Pesquisa Ação é bastante apropriada quando se objetivam melhorias operacionais e aprendizagem organizacional (ZUBER-SKERRITT; PERRY, 2002)
- A Pesquisa Ação é uma abordagem metodológica que busca responder questões tais como: “Como gerentes de operação e pesquisadores podem aprender a partir da atividade aplicada que caracteriza a prática da Gestão de Operações?” (COUGHLAN; COGHLAN, 2002).
- A Pesquisa Ação é um processo participativo, democrático, que procura reunir ação e reflexão, teoria e prática, na busca de soluções práticas de interesses humanos de valor. (REASON; BRADBURY, 2001)

Segundo Coughlan e Coghlan (2002) os projetos de Pesquisa Ação são situações específicas e não possuem como objetivo criar conhecimento universal, mas, devem ter implicações além das requeridas pelas ações ou conhecimentos internos ao projeto. É importante extrapolar os resultados para outras situações e identificar como o projeto de Pesquisa Ação pode auxiliar organizações parecidas ou situações similares.

Eden e Huxham (1996, Action Research for Management Research, *British Journal of Management*, Vol.7, pp. 75-86. Apud Coughlan e Coghlan, 2002, p. 236) apresentam importantes guias de como a Pesquisa Ação contribui para a teoria:

- A Pesquisa Ação gera teoria emergente, na qual a teoria se desenvolve a partir de uma síntese que emerge dos dados e da prática do corpo teórico que foi utilizado.
- A construção da teoria é incremental vindo do particular para o geral em pequenos degraus.
- A Pesquisa Ação demanda uma explícita preocupação com a teoria que é formada pela conceituação da experiência particular, pois a intenção é que a mesma faça sentido para os outros.
- Não é suficiente extrair generalidades da Pesquisa Ação através de projetos de ferramentas, técnicas e modelos, pois as bases para o projeto devem estar explícitas e relacionadas com a teoria.

4.3 CICLOS DA PESQUISA AÇÃO

A Dinâmica de Sistemas é normalmente vista como uma ferramenta estratégica, eficazmente aplicada nos níveis mais altos da estratégia das empresas. Este é um nível onde a clareza dos pensamentos através das fronteiras é muito necessária, e onde as interconexões das malhas de realimentação, sejam internas à organização, sejam entre a organização e o ambiente em que ela se insere, são mais abundantes. Entretanto, está emergindo um papel alternativo, complementar e poderoso para a Dinâmica de Sistemas: a de ser utilizada no nível intermediário das organizações, pois é aí que o valor do negócio *(cash flow)* pode ser criado ou destruído (CORBEN et al., 2003).

Nos projetos Seis Sigma deste trabalho, os grupos envolvidos foram os dos níveis intermediário, gerência e direção das organizações.

Foram adotados os ciclos da Pesquisa Ação sugeridos por Zuber-Skerrit e Perry (2002) e que se encontram na Figura 29.

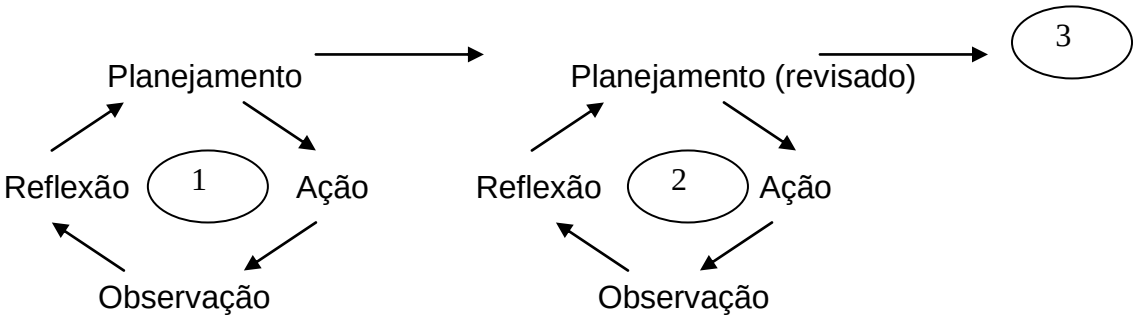


Figura 29 - Desenvolvimento dos projetos com Pesquisa Ação
Fonte: Adaptado de Zuber-Skerrit e Perry (2002)

O trabalho em Pesquisa Ação é colaborativo e participativo. Os participantes devem estar envolvidos na coleta de dados, análise e interpretação e em uma espiral de ciclos. Em cada ciclo há as seguintes etapas: planejamento; ação para implementar o plano; observação e avaliação da ação; e finalmente, a reflexão sobre os resultados, sobre todo o processo da Pesquisa Ação e sobre o que se aprendeu sobre isso (ZUBER-SKERRIT; FLETCHER, 2007).

O planejamento, reflexão e coleta de dados muito provavelmente deverão ser feitos com a ajuda de pessoas da organização. De fato, há ciclos dentro de ciclos. Se o pesquisador estiver usando entrevistas para coleta de dados, cada entrevista é considerada um ciclo. A seqüência de entrevistas forma um outro ciclo, e do mesmo modo assim é considerado para outra forma de coleta de dados que estiver sendo utilizada. Por outro lado, todos esses elementos são uma parte de um ciclo ainda maior que é a do projeto como todo (DICK, 1997).

4.4 INSERÇÃO DOS CICLOS DA PESQUISA AÇÃO NO TRABALHO DA TESE

O modelo de tese com Pesquisa Ação proposto por Zuber-Skerritt e Perry (2002) foi aqui adotado. Ele representa como uma pesquisa de tese de Pesquisa Ação se relaciona com a própria Pesquisa Ação realizada em campo e com a finalização da tese em forma de texto. A Figura 30 apresenta esse modelo.

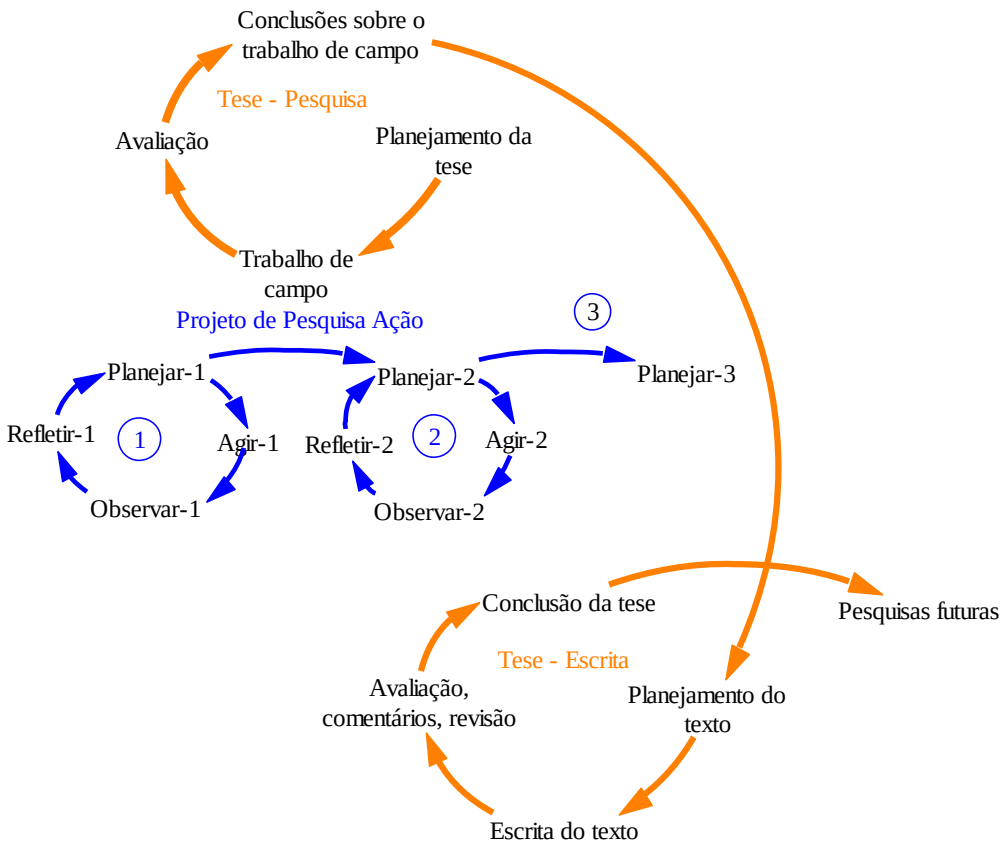


Figura 30 - Modelo de tese com Pesquisa Ação
Fonte: Adaptado de Zuber-Skerritt e Perry (2002)

Segundo Zuber-Skerritt e Perry (2002) é importante considerar a diferença entre o uso da Pesquisa Ação em uma dissertação de mestrado e em uma tese de doutorado. Em uma dissertação de mestrado é necessário apenas progredir ao longo de um ciclo maior ou vários menores da Pesquisa Ação (planejar, agir, observar, refletir), para que se demonstre a pesquisa metodológica. Já no trabalho de tese de doutorado, o projeto de pesquisa necessita progredir ao longo de dois, três maiores ciclos para obter uma visível contribuição ao conhecimento. Estes dois ou três ciclos não necessariamente precisam ser realizados com o mesmo grupo de trabalho, ou seja, o conhecimento ganho pelo grupo de trabalho na fase de reflexão no primeiro ciclo deve ser transferido para o outro grupo de trabalho, para a fase de planejamento do segundo ciclo.

É de se esperar que um trabalho de tese de doutorado usando Pesquisa Ação contribua para o incremento tanto do conhecimento teórico quanto do conhecimento prático. O conhecimento prático está relacionado com a capacitação dos participantes e com a transformação das práticas no seu ambiente de trabalho para formas novas, únicas e diferentes do que as utilizadas no passado no sistema considerado (ZUBER-SKERRITT; FLETCHER, 2007).

4.5 LOCAIS DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em três organizações: uma empresa multinacional de grande porte; uma empresa multinacional de médio porte; um hospital público. Neste documento, essas empresas serão respectivamente chamadas por Empresas A e B e Hospital C.

4.5.1 Empresa A

A Empresa A é uma multinacional francesa que fornece produtos e serviços para distribuição elétrica, controle e automação industrial. Opera em mais de 190 países,

conta com mais de 200 fábricas e possui cerca de 120 mil funcionários. Apresentou um faturamento de 17,3 bilhões de euros em 2007.

A Empresa A está no Brasil há mais de 60 anos onde possui 4 fábricas, 11 filiais comerciais, mais de 2000 pontos de venda e 150 representantes comerciais distribuídos em todos os estados do país.

Em outubro de 2002, a Empresa A iniciou o programa Seis Sigma no Brasil e conta atualmente com 33 *Green Belts*.

A pesquisa foi realizada dentro de um projeto Seis Sigma pertencente ao Centro de Distribuição Logística, situado na fábrica em Guararema, SP.

4.5.1.1 Justificativa de Realização da Pesquisa na Empresa A

Desde a criação do Seis Sigma pela Motorola, ele vem sendo utilizado por várias empresas de grande porte e os resultados econômicos vêm sendo publicados (PANDE et al., 2002; PYZDEK, 2003). A escolha da Empresa A se deu por ser ela de grande porte, por utilizar o Seis Sigma desde 2002, e pelo fato de já ter obtido ganhos com a sua aplicação. Esta empresa proporcionava um ambiente onde o DUMAIC poderia receber as críticas de pessoas que já haviam trabalhado com o Seis Sigma.

4.5.2 Empresa B

A Empresa B é uma multinacional mexicana, que atua nos mercados de Condutores Elétricos, Automobilístico, Transformadores, Alimentos e Fundição. Conta com mais de 35 fábricas e 50 centros de distribuição no México, Estados Unidos, Argentina e Brasil, possuindo mais de 35 mil empregados.

A Empresa B iniciou suas atividades no Brasil em 1996 ao adquirir uma empresa familiar que atuava desde 1946 nos setores de Fios Esmaltados e Químico. Trata-se de uma empresa de médio porte no Brasil.

Em 2006, no Brasil, a Empresa B integrou seus sistemas de gestão envolvendo a certificação das normas: ISO 9001:2000 (Qualidade), ISO 14001:2004 (Meio Ambiente), OHSAS 18001:1999 (Segurança e Saúde Ocupacional) e SA 8000:2001 (Responsabilidade Social). Em 2007 foi classificada entre as 150 Melhores Empresas para Trabalhar, pela revista Você S/A Exame da Editora Abril.
A pesquisa foi realizada em um projeto Seis Sigma pertencente à Fábrica Química, situada em Três Corações, MG.

4.5.2.1 Justificativa de Realização da Pesquisa na Empresa B

O Seis Sigma está sendo também utilizado nas PMEs - Empresas de Pequeno e Médio Portes (ANTONY et al., 2005). No Brasil as estatísticas apresentadas no *site* do Sebrae [entre 1999 e 2008] demonstram que a presença das micro e pequenas empresas é bastante importante na economia brasileira, sendo que estas respondem por 98% das empresas, 67% das ocupações e 20% do PIB brasileiro.
Como a Empresa B, no Brasil é uma empresa de médio porte, foi uma das escolhidas para a implantação do modelo DUMAIC.

4.5.3 Hospital C

O Hospital C é um hospital público inaugurado em São Paulo – SP em 19 de abril de 1944. Ocupa uma área total de 352 mil metros quadrados, com cerca de 2.200 leitos distribuídos entre seis institutos especializados, dois hospitais auxiliares, uma divisão de reabilitação e um hospital associado.
O Hospital C executa no seu Laboratório Central mais de 600 tipos diferentes de exames laboratoriais. Diariamente são atendidos mais de 2500 pacientes, realizando perto de cinco milhões de exames anuais.
O Laboratório Central do Hospital C obteve a certificação ISO 9002 em 1997 e a re-certificação pela norma ISO 9001:2000 em 2002.

O DUMAIC foi implementado em um projeto Seis Sigma realizado no Laboratório Central do Hospital C em São Paulo, SP.

4.5.3.1 Justificativa de Realização da Pesquisa no Hospital C

É previsto que uma das novas áreas promissoras de implantação do Seis Sigma seja a área da Saúde Pública (RIEBLING et al., 2004; ANTONY, 2006; DREACHSLIN; LEE, 2007; ANTONY et al., 2007). A Dinâmica de Sistemas também tem sido utilizada em um número significativo de questões da saúde pública. Ela fornece ferramentas úteis aos profissionais da área para modelar processos de realimentação de modo a tornar transparente porque certos efeitos poderiam ocorrer para a população, e pode auxiliar os responsáveis pelas políticas a anteciparem os efeitos contra-intuitivos nas iniciativas dessa área (MIDGLEY, 2006; TROCHIM et al., 2006).

Pelo fato do Hospital C ser o maior hospital público da América Latina, com uma grande quantidade de atividades executadas diariamente no seu Laboratório Central, ele foi um dos escolhidos para a implementação do modelo DUMAIC.

4.6 PESQUISA AÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO DUMAIC

O DUMAIC foi aplicado na Empresa A no Projeto “Cliente Retira”, na Empresa B no projeto “Lavagem de Reatores” e no Hospital C no projeto “Aumento da Disponibilidade do Sistema de Purificação de Água”. Em seguida serão apresentados cada um dos projetos, a aplicação do DUMAIC, os resultados obtidos e a discussão sobre os resultados. Todos os *Workbooks* de cada projeto estão apresentados nos Apêndices deste documento, com as respostas originais dos participantes das equipes Seis Sigma.

Durante o desenvolvimento do trabalho em cada projeto, a autora forneceu os conceitos básicos do Pensamento Sistêmico e da Dinâmica de Sistemas Qualitativa às equipes Seis Sigma, visto que os mesmos não eram conhecidos. Esse

treinamento inicial foi considerado como sendo um dos ciclos menores da Pesquisa Ação. Em seguida a autora atuou como facilitadora na criação dos modelos qualitativos junto às equipes. Durante a criação dos modelos qualitativos e investigação dos problemas, por meio de entrevistas, os ciclos maiores da Pesquisa Ação foram completados paulatinamente. O uso da Pesquisa Ação justificou-se pelos próprios objetivos da metodologia, que são o de tomar ação e o de criar conhecimento ou teoria sobre essa ação.

4.6.1 Projeto Cliente Retira

Uma vez aceita a proposta de aplicação do DUMAIC pela Empresa A escolheu-se um projeto Seis Sigma que estava em andamento no seu Centro de Distribuição Logística situado em Guararema, no estado de São Paulo.

Esse departamento se deparava com dois problemas cujas atenções eram consideradas prioritárias. O primeiro era diminuir as interrupções e confusões geradas no processo de tratamento do pedido através das retiradas, pelos clientes, dos produtos vendidos. O segundo era diminuir o número de pedidos considerados urgentes. A fim de não impactar nas atividades do dia a dia, a empresa decidiu abrir dois projetos Seis Sigma e tratar um problema por vez, começando pelo primeiro citado.

A Empresa A faz a distribuição de seus produtos através de um único Centro de Distribuição Logística – CD e normalmente utiliza transportadoras que ela mesma contrata – sendo este o procedimento padrão. Entretanto, em certos casos, o cliente opta por ele mesmo retirar o produto comprado, o que, na maioria das vezes, causa interrupções e gera confusão na rotina de trabalho do CD. As ocorrências mais comuns são perturbações causadas porque os agentes enviados pelos clientes: a-) não possuem a documentação correta; b-) não atendem aos horários estabelecidos para fazer esse tipo de atividade e c-) em casos extremos, não possuem nenhuma documentação da retirada que devem efetuar. Cada vez que um desses problemas ocorre, a rotina normal de trabalho é interrompida e a perturbação pode se refletir nas atividades de *pick-up*, embalagem, faturamento, expedição.

Como a tendência verificada é a de que esse problema continue se intensificando, a Empresa A decidiu abrir um projeto Seis Sigma para analisá-lo e implementar políticas e ações de caráter corretivo.

Em um primeiro momento, a Empresa A, seguindo o padrão de “comando e controle” ainda bastante comum nas organizações, rumava para a resolução do problema lançando uma norma que estabelecia horários, locais de espera e documentos necessários a serem respeitados pelos agentes enviados pelos clientes. Por sinal, não era a primeira vez que essa norma de visão exógena, que partia do princípio de que o causador do problema era externo, era estabelecida com a mesma finalidade.

Em uma empresa onde os agentes são mecanicistas clássicos, a organização será abordada como se fosse uma máquina que necessita de controle e serão implementados mecanismos para controlá-la (ANDRADE et al., 2006).

Foi sugerido à Empresa A que tratasse o problema segundo uma abordagem sistêmica e o DUMAIC apresentado nesse documento foi aplicado com a equipe Seis Sigma. Um dos objetivos também era o de verificar se existiam causas endógenas para o problema.

4.6.1.1 Metodologia de aplicação do DUMAIC no projeto Cliente Retira

A Pesquisa Ação nesse projeto desenvolveu-se como apresentado na Figura 31. Ela gerou três *Workbooks*: os *Workbooks 1, 2* e *3* que se encontram nos Apêndices A, B e C, respectivamente.

Em seguida, segue o relato da pesquisa.

Após reuniões de apresentação para a diretoria e alta gerência na Empresa A propondo o trabalho, este foi aceito para ser realizado junto ao projeto Cliente Retira, que se encontrava na fase Definir do DMAIC.

O *Green Belt* responsável pelo projeto, o apresentou em detalhes e tornou disponíveis os dados e documentos existentes até aquele momento.

A autora deste trabalho de tese atuou como facilitadora da equipe na aplicação do modelo DUMAIC e seguiu o fluxo conforme apresentado na Figura 27.

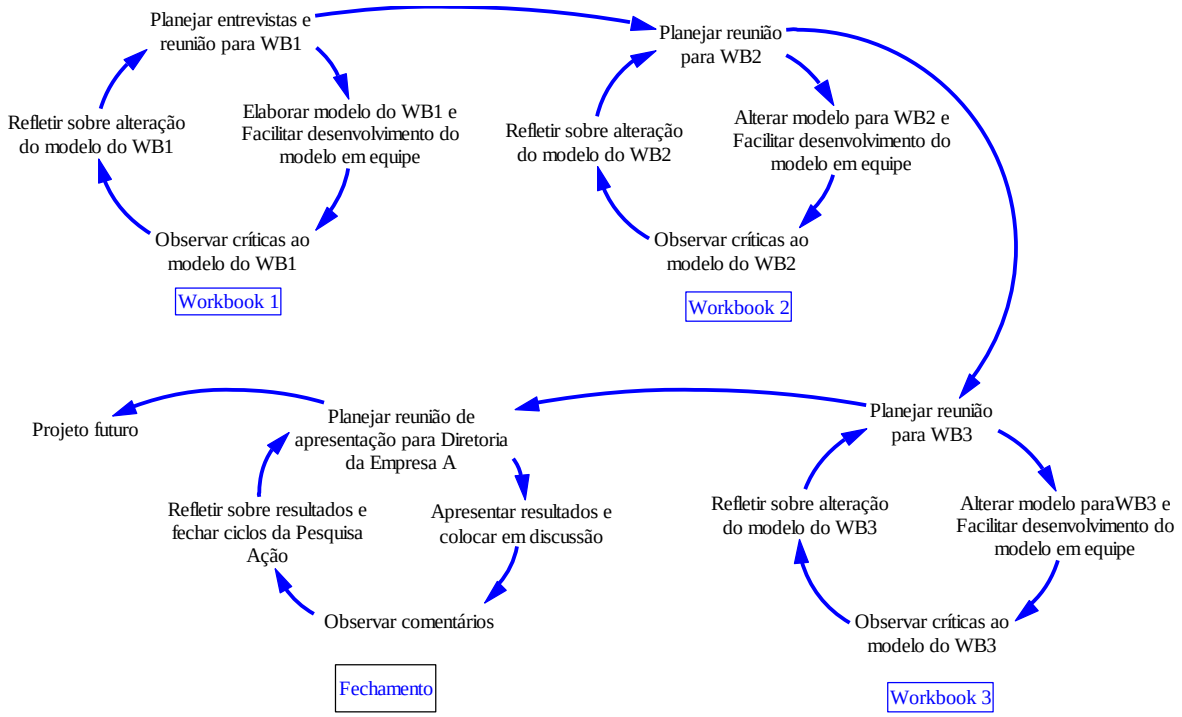


Figura 31 - Ciclos maiores da Pesquisa Ação do projeto Cliente Retira
Fonte: A autora

Com o estudo dos dados iniciais do projeto, e após a reunião inicial com toda a equipe, a Ação 1 da fase Entender pôde ser iniciada. Neste momento a questão que a facilitadora colocou a si mesma foi a seguinte: Há indícios de que a equipe se comporte segundo o arquétipo “Transferência de responsabilidade”? A equipe enxerga o projeto como “aumentar a dose do mesmo remédio”?

A resposta foi “Sim”, pois no passado já havia sido editada uma norma para que os clientes a obedecessem na retirada das mercadorias. E conforme identificado nas entrevistas, havia uma vez mais, a intenção do grupo em reeditar a mesma norma, intensificando sua rigidez. Eram fortes os indícios de que a equipe se comportava como no arquétipo “Transferência de Responsabilidade”. Nesse momento foi necessário questionar o modelo mental dos envolvidos para que a solução fundamental fosse descoberta fazendo surgir pontos de alta alavancagem.

Para tanto, foram formuladas as seguintes questões pela facilitadora:

“- Considerando que uma nova norma fosse lançada, ela não estaria cobrindo e controlando apenas os agentes externos à empresa, ou seja, os agentes dos clientes que realizam as retiradas? Haveria casos onde o problema pudesse ser

gerado internamente à empresa? No caso de geração endógena o problema não voltaria a acontecer novamente?”.

Após esse questionamento, um dos integrantes da equipe comentou que havia casos excepcionais, com origem no setor de vendas, nos quais os clientes vinham às pressas buscar os produtos que provocavam a interrupção da rotina de expedição. Naquele momento, entretanto, não foi possível identificar nenhuma malha de alta alavancagem.

Desse modo, fechou-se a Ação 1 da fase Entender, finalizou-se a fase Definir e iniciou-se a fase Medir.

Na fase Medir, seguindo o fluxo do modelo DUMAIC, foi avaliado se, de acordo com suas características, esse problema era de complexidade dinâmica. Foi possível identificar algumas das características:

a) O sistema era dinâmico, pois a saída Y ou CTQ (retirada pelos clientes) dependia temporalmente das entradas (vendas realizadas). A documentação do projeto indicava essa situação.
b) Os agentes do sistema interagiam fortemente entre si (clientes, vendedores, pessoal da expedição), tornando o sistema fortemente acoplado.
c) O sistema reagia contra as intervenções feitas para ordenar o seu modo de funcionamento. As normas para retirada das mercadorias pelos clientes já existiam, porém, o sistema reagia a elas e o problema acontecia contrariamente aos esforços feitos para eliminar as perturbações.
d) Era perceptível que alguma variável escapava à modelagem do sistema, mas faltavam dados para identificá-las.

Passou-se então à Ação 2 da fase Entender, ou seja, a construção do modelo em equipe. A seguir são apresentados os passos realizados:

<u>Passo1</u>: Analisar a documentação existente sobre o comportamento temporal do CTQ do problema

Ainda que a equipe do projeto Cliente Retira já houvesse definido o problema, a documentação foi revista de modo a tornar o entendimento mais claro. Quando a definição do problema é bem realizada, os limites do modelo de Dinâmica de Sistemas Qualitativa tornam-se mais evidentes, escolhe-se mais facilmente os elementos que pertencerão ou não ao modelo, o que melhor orienta o desenvolvimento da fase Medir.

O comportamento temporal da variável considerada o problema, variável Y, foi levantado de modo a estabelecer o Modo de Referência. O Modo de Referência é importante, pois futuramente indicará a eficácia ou não das ações tomadas. A definição do período de tempo a ser considerado depende do problema que se quer analisar, ou seja, o período escolhido deverá "fazer sentido" para a análise.

Passo 2: Apresentar os conceitos de Dinâmica de Sistemas Qualitativa para a equipe do projeto

A apresentação dos conceitos foi feita pela presente autora em um período aproximado de uma hora.

Passo 3: Realizar entrevistas individuais com os participantes da equipe do projeto a fim de explicitar os modelos mentais

Este é um ponto importante na modelagem. As entrevistas foram realizadas de modo individual com cada integrante da equipe do projeto Seis Sigma.

Passo 4: Preparar o *workbook*

Neste ponto, a facilitadora, com base nos documentos, no modo de referência e nas entrevistas, elaborou o *Wokbook* 1 contendo as questões sobre cada relacionamento entre pares de variáveis e um Diagrama de Enlace Causal inicial. Este diagrama não teve como objetivo apresentar um modelo pronto para a equipe, mas sim, servir de base para iniciar a discussão em grupo.

Passo 5: Responder questões do *workbook*

Os participantes da equipe receberam e responderam o documento preparado pela autora.

Passo 6: Ajustar modelo qualitativo segundo observações do *workbook*

Em reunião da equipe de projeto Seis Sigma, o Diagrama de Enlace Causal foi refinado. Como o processo de modelagem é iterativo, o diagrama inicial foi submetido a mudanças, gerando um segundo.

Passo 7: Atualizar o *workbook*

A facilitadora atualizou o modelo qualitativo segundo as observações levantadas na reunião em grupo e preparou o *Workbook* 2.

Passo 8: Repetição dos passos 5, 6 e 7 até aprovação consensual dos *workbook*

5-a) A equipe do projeto Seis Sigma avaliou o documento e fez comentários.

6-a) Ajustou-se o modelo qualitativo segundo observações do *workbook.*

Em reunião da equipe de projeto Seis Sigma, o Diagrama de Enlace Causal foi mais uma vez refinado.

7-a) Atualizou-se o *workbook* e preparou-se o *Workbook 3.*

O passo 8 foi repetido 2 vezes. Ao término dos refinamentos, verificou-se que algumas variáveis e respectivas relações que haviam sido retirados na primeira versão do *workbook* foram reintroduzidas. Foi percebido pela equipe que as revisões do modelo o aproximaram da realidade.

Passo 9: Tirar conclusões do modelo e continuar com o DUMAIC

As conclusões sobre quais eram as variáveis importantes que interferiam no sistema e quais eram as malhas de realimentação que geravam o comportamento dinâmico do sistema, puderam ser inferidas. Essas informações foram úteis na finalização da etapa Medir do DUMAIC.

4.6.1.2 Resultado da Construção do Modelo em Equipe no projeto Cliente Retira

O problema foi declarado como sendo a “Retirada de produtos vendidos pelos próprios clientes ou seus agentes”. Esse modo de operar era um problema declarado, pois: alterava o fluxo natural do processo, interrompia as atividades de rotina, o trato com o cliente perdia qualidade porque a equipe que atendia aos clientes estava comprometida com atividades programadas. No entanto, apesar de todo o distúrbio provocado, fazia parte do senso comum, a importância em deixar aberta a possibilidade para o cliente retirar a sua mercadoria por conta própria.

Para verificar o padrão do comportamento da variável CTQ “Retiradas pelos Clientes”, inicialmente a Empresa A apresentou um levantamento do número de ocorrências mensais de retiradas de produtos pelos clientes no período de jul/2005 a fev/2006, conforme gráfico apresentado na Figura 32.

Por esse gráfico, entretanto, tem-se a impressão que as retiradas apresentaram um crescimento a partir de set/2005 e passaram a declinar a partir de dez/2005. Foi então solicitado um segundo levantamento dos dados que cobrisse um período maior. Neste outro gráfico, cobrindo o período de mar/2004 a mar/2006 já se percebe claramente a tendência de aumento das retiradas pelos clientes, confirmando o relato do problema pela equipe do projeto Seis Sigma. Os valores estão apresentados na Figura 33 e esse foi considerado o Modo de Referência do problema.

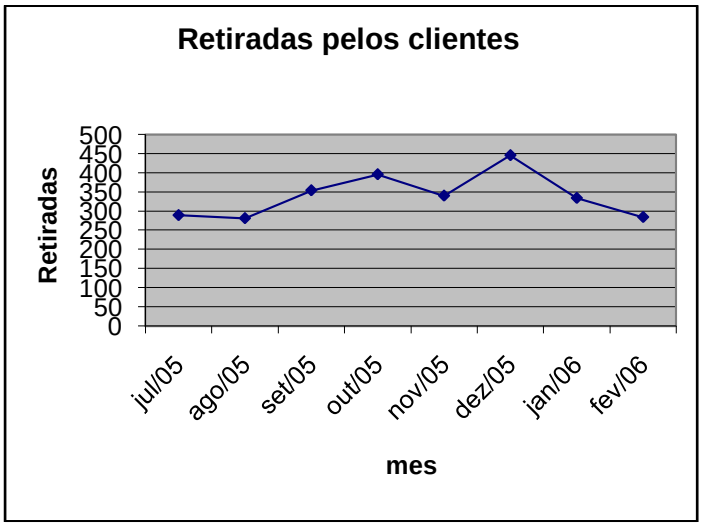


Figura 32- Evolução das retiradas pelos clientes da Empresa A de jul/2005 a fev/2006
Fonte: Empresa A

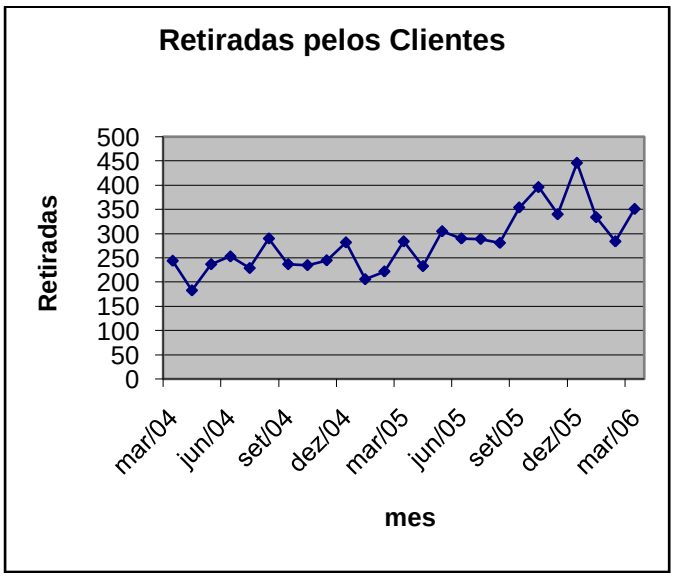


Figura 33 - Evolução das retiradas pelos clientes da Empresa A de mar/2004 a mar/2006
Fonte: Empresa A

Baseado no Modo de Referência do problema, nos documentos e nas entrevistas que explicitaram os modelos mentais dos integrantes da equipe, foi preparado o *Workbook* 1 que se encontra nos Apêndice A deste documento. No *Workbook* 1 um Diagrama de Enlace Causal inicial foi sugerido pela facilitadora, conforme apresentado na Figura 34.

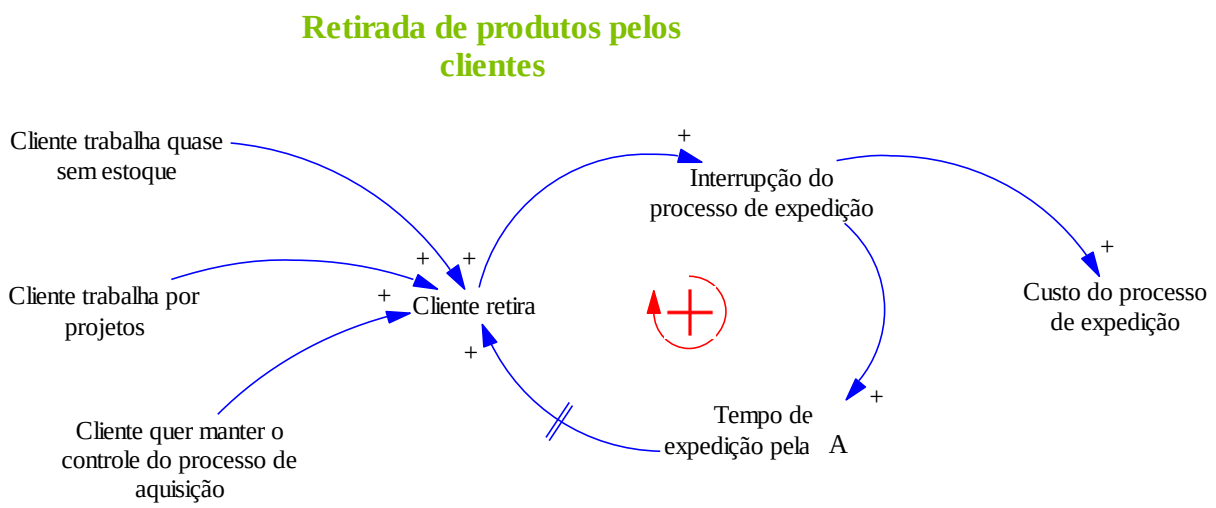


Figura 34. Diagrama de Enlace Causal inicial mapeando o problema da retirada de produtos pelos clientes
Fonte: A autora

Segundo o Modo de Referência do problema, que demonstrava um crescimento do comportamento de “retirada pelos clientes”, deveria haver uma malha de realimentação positiva que levava a intensificação desse comportamento. Esse padrão orientou a elaboração do modelo.

Para indicar uma ação direta, o nome do CTQ “retirada pelos clientes” passou a ser “Cliente retira”. Ele foi colocado numa posição central para facilitar a visualização pela equipe. À esquerda foram posicionadas algumas possíveis variáveis exógenas que, segundo as entrevistas, poderiam intensificar as retiradas pelos clientes.

À direita da variável “Cliente retira” foi representado um efeito dessa retirada: quanto mais o cliente retira, maior é a interrupção do processo de expedição, o que aumenta o tempo de expedição pela Empresa A. Passado um determinado intervalo de tempo quanto maior é o tempo de expedição pela Empresa A, (o atraso é representado pelas duas linhas paralelas que cortam a seta), mais o cliente retira. Neste ponto ficou clara para a equipe, a existência de uma malha de realimentação positiva: o aumento da variável “Cliente retira” realimentou nela mesma positivamente. Foi também identificado o aumento do custo do processo de expedição em decorrência da interrupção do processo de expedição.

Após o Diagrama de Enlace Causal inicial ter sido proposto à equipe Seis Sigma no *Workbook* 1, as críticas a respeito dos relacionamentos de algumas variáveis começaram a surgir.

A principal delas foi que a equipe Seis Sigma não estava de acordo com a malha de realimentação que fora representada no diagrama. Para a equipe, se fosse aumentado o tempo de expedição pela Empresa A, os clientes simplesmente deixariam de comprar e procurariam um outro fornecedor. Não haveria, portanto, o fechamento da malha demonstrado no diagrama.

Mais adiante, já com o diagrama mais elaborado no *Workbook* 2, identificou-se que se o tempo de expedição pela Empresa A aumenta, diminui o Nível de Serviço, que diminui a satisfação do cliente e aumenta a perda do cliente. Com o aumento da perda do cliente, aumenta o esforço para a recuperação do cliente, que leva a um aumento das "Vendas Urgentes", fechando uma malha positiva. E, para surpresa de todos, "Vendas Urgentes" era o problema central de um segundo Projeto de Melhoria já identificado pelo grupo Seis Sigma e seria o próximo projeto do grupo. Ficou assim identificado que existia um inter-relacionamento entre os dois problemas que anteriormente eram considerados independentes. A revisão dos passos 5, 6 e 7 levou a um novo Diagrama de Enlace Causal que é apresentado na Figura 35.

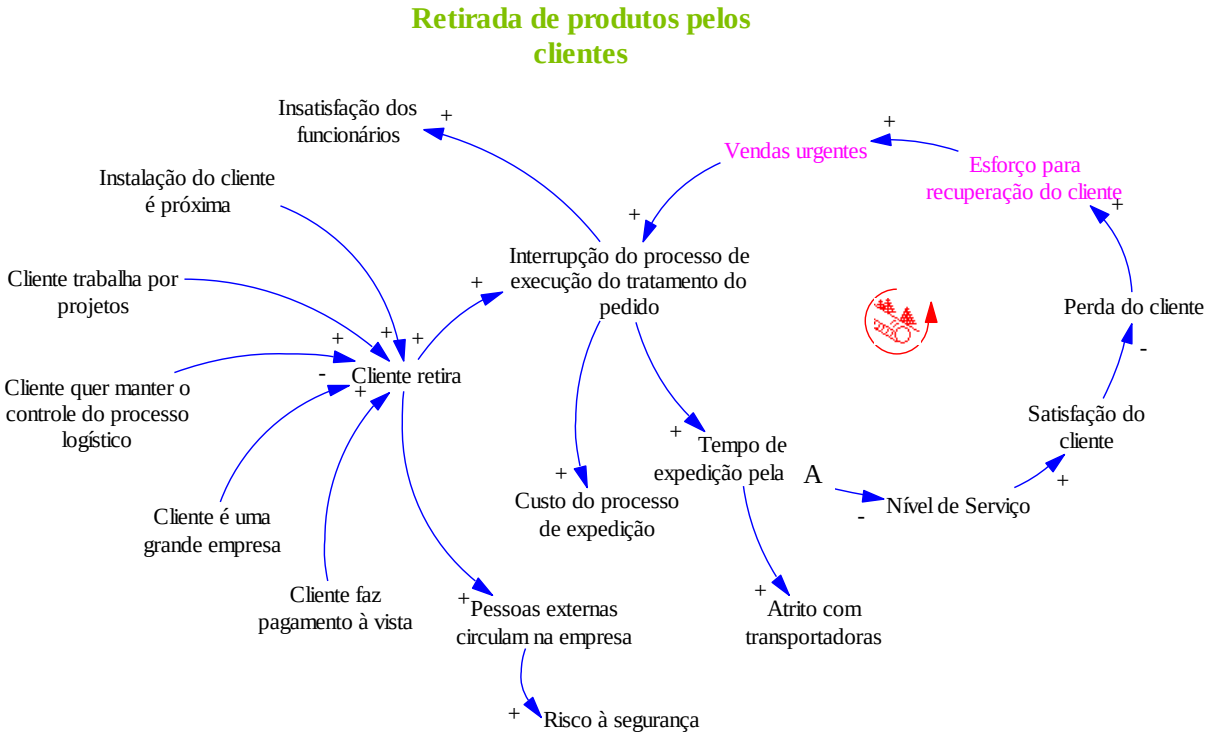


Figura 35 - Diagrama de Enlace Causal que apresenta o relacionamento entre as vendas urgentes e a retirada pelos clientes.
Fonte: A autora

Ao final do processo de refinamento, a versão alterada no *Workbook* 3 apresentou-se conforme a Figura 36.

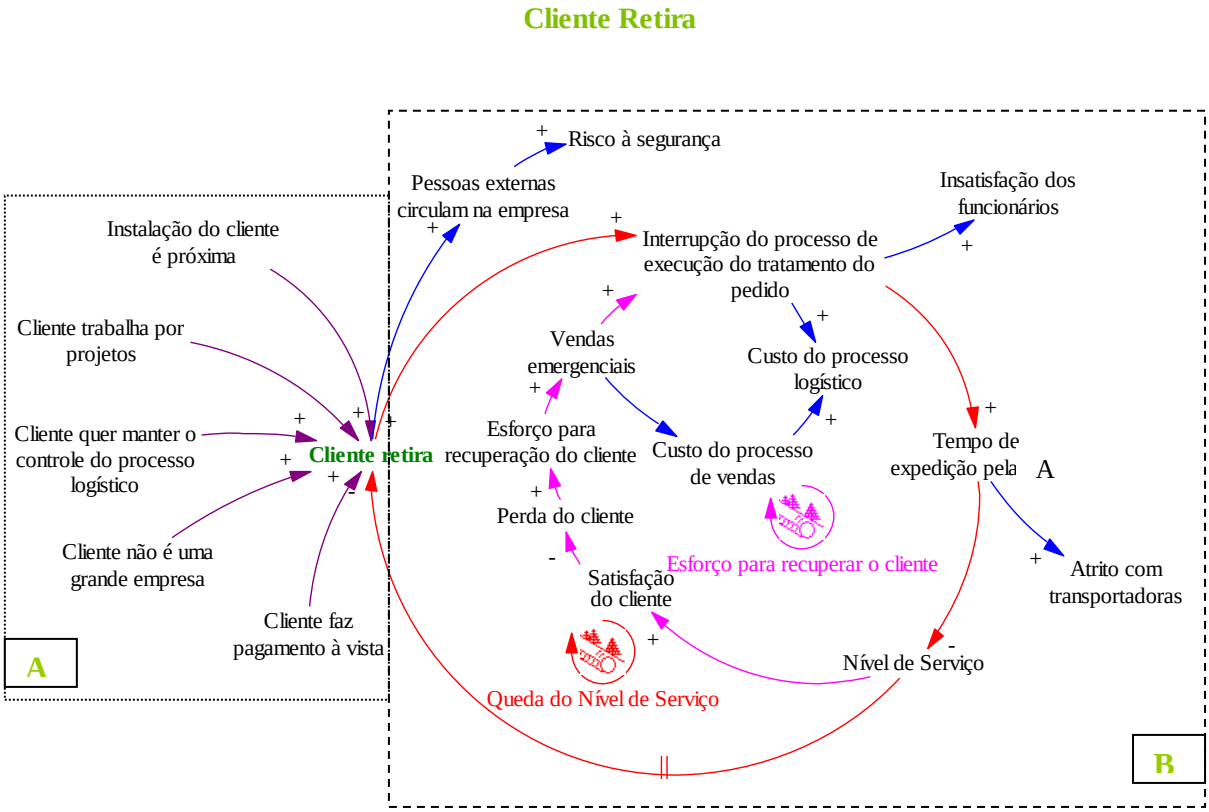


Figura 36 - Diagrama de Enlace Causal final do projeto Cliente Retira
Fonte: A autora

Para facilitar o entendimento, a análise do Diagrama de Enlace Causal final deve ser feita por partes. Dentro da área limitada e chamada de “A”, estão as causas que poderiam levar a uma retirada de produtos pelos clientes. Os efeitos gerados pela retirada dos clientes estão limitados pela área “B”.

Em um primeiro momento foram identificadas as causas óbvias apresentadas em “A”. Todas elas têm sua origem nos clientes: a Instalação do cliente é próxima, o Cliente trabalha por projetos, o Cliente quer manter o controle do processo logístico, o Cliente não é uma empresa grande, o Cliente faz pagamento à vista. Pode-se dizer que essas causas eram exógenas, ou seja, eram geradas fora da Empresa A.

Em seguida, verificou-se que o fato do cliente retirar, gerava como efeito interno na Empresa A, a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, que fazia aumentar o tempo de expedição pela empresa, que diminuía o Nível de serviço. Com um Nível de Serviço baixo, após certo tempo, os clientes passavam eles próprios, a fazerem as retiradas. Esse mapeamento está na área B.

Percebeu-se, portanto, que mais uma causa, levava o cliente a retirar suas mercadorias. E a nova causa encontrada, que era não óbvia, era uma causa endógena, originada internamente à Empresa A. Essa malha de realimentação positiva foi denominada Queda do Nível de Serviço.

Por outro lado, também se identificou que, com um Nível de Serviço mais baixo, a Satisfação do cliente, diminuía, o que poderia levar à Perda do cliente. Para não perder o cliente a empresa aumentava o esforço para recuperar o cliente, necessitando, às vezes, realizar vendas emergenciais. Essas vendas também levavam à Interrupção do processo de execução do tratamento do pedido. Fechou-se aí outra malha de realimentação positiva chamada de Esforço para Recuperar o Cliente.

É importante lembrar que as malhas de *feedback* positivo tendem a amplificar o que quer que esteja acontecendo no sistema. Nesse sistema existiam duas.

Uma observação a ser feita é que, no diagrama de enlace causal, são identificados dois fatores de preocupação na Empresa A: as Vendas Emergenciais e o Nível de Serviço.

4.6.1.3 Discussão sobre os resultados do DUMAIC no projeto Cliente Retira

A percepção de existência do arquétipo “Transferência de Responsabilidade” e a utilização de ferramentas da Dinâmica de Sistemas Qualitativa levaram a equipe do projeto Cliente Retira a uma mudança nas crenças que possuíam a respeito das relações de causa e efeito no problema da “Retirada de produtos vendidos pelos clientes ou seus agentes”.

De início, ao se deparar com a necessidade de resolver o problema, a equipe seguia uma visão tradicional de que as causas são sempre externas ao sistema. Mais ainda, com a intenção de “aumentar a dose do mesmo remédio” o objetivo era o de elaborar uma nova norma para que os clientes só conseguissem retirar produtos condicionados aos horários e locais rígidos e documentos determinados.

Com a construção dos Diagramas de Enlace Causal, a equipe aprofundou e ampliou sua visão a respeito do problema, compartilhou o aprendizado sobre as variáveis importantes que gravitavam em torno da questão e como eram os seus

relacionamentos. Percebeu que uma parte deste problema era causada pela própria estrutura e ações internas à empresa: o fato do cliente retirar a mercadoria era, na realidade, um sintoma do problema.

Outro ponto interessante foi que, com o auxílio do Diagrama de Enlace Causal, identificou-se a existência de um inter-relacionamento entre o problema da retirada de produtos pelos clientes com o outro problema que deveria em seguida ser tratado pela Empresa A, o das “Vendas Urgentes”. Portanto, as políticas lançadas para o primeiro problema deveriam levar em consideração o segundo e vice-versa.

Na seqüência do DUMAIC era de se esperar um maior consenso na elaboração das novas políticas para a resolução do problema, assim como um maior comprometimento da equipe com a implantação das ações, uma vez que ela mesma desenvolvera o modelo que indicava pontos críticos para as mudanças.

Após a construção do modelo do Diagrama de Enlace Causal, algumas mudanças aconteceram na Empresa A. O coordenador da equipe do projeto Seis Sigma foi promovido e passou a ocupar nova posição na empresa. No seu cargo, como responsável do CD, assumiu um dos seus funcionários, que por sorte, participava também do projeto Cliente Retira. Essa nova pessoa e a diretoria tomaram algumas decisões baseadas nos resultados do DUMAIC até aquele momento:

- Foram feitas visitas nos clientes maiores que retiravam e ficou confirmado que o faziam por motivos históricos, ou seja, no passado tiveram problemas que os levaram a retirar eles mesmos e assim continuaram. Um esclarecimento sobre a melhoria do desempenho do nível de serviço da Empresa A levou-os a esperar pela entrega pela própria Empresa A.
- Como ficou identificado que as “Vendas Urgentes” contribuíam com uma malha de reforço para as retiradas pelos clientes, o projeto Cliente Retira foi finalizado e o projeto “Vendas Urgentes”, que se encontrava em compasso de espera, foi aberto com o nome de “*Business Transformation*”. Segundo o atual responsável pelo CD “os modelos de Diagrama de Enlace Causal construídos ajudaram a entender com clareza o problema e ao invés de atacarmos o efeito passamos a atacar o processo”.

Atualmente a Empresa A já tem resultados concretos advindos das mudanças que começaram com o DUMAIC do projeto Cliente Retira:

- O fluxo de atividades do CD foi alterado para facilitar as operações;
- A capacidade de processamento de informação aumentou de 25% a 30% porque gargalos de atendimento deixaram de sê-lo;
- O setor de faturamento teve sua capacidade de emissão de faturas incrementada em 40%;
- A retirada pelo cliente não foi proibida. No entanto, o tempo usualmente empregado nessa atividade que era de 2h a 24h atualmente dura menos de meia hora, desobstruindo o setor de expedição da empresa.
- Mas, o grande resultado obtido pelo DUMAIC, foi o aumento de conhecimento sobre o sistema. Isso permitiu à equipe tomar decisões sobre ações de longo prazo que levaram em consideração a sua dinâmica.

Como a Pesquisa Ação tem como objetivos tornar a ação mais eficaz e gerar conhecimento científico, esse trabalho gerou um artigo e foi apresentado em uma das sessões temáticas do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção em 2006, em Fortaleza (JANSEN; ROTONDARO, 2006) e encontra-se publicado nos anais desse congresso.

4.6.2 Projeto Lavagem de Reatores

Essa aplicação do DUMAIC foi realizada em um projeto Seis Sigma na Fábrica Química da Empresa B.

Essa fábrica é uma planta multipropósito que opera com processos em batelada. Mesmo sendo uma planta de pequeno porte, possui um forte compromisso com a qualidade de seus produtos e processos.

De 2004 a 2006, com a introdução de práticas do *Lean Manufacturing*, a Fábrica Química da Empresa B conseguiu duplicar sua capacidade de produção, mas, ainda assim, apresentava um desempenho abaixo do esperado no Indicador de Eficiência da Planta.

O índice de Eficiência é calculado pela Empresa B como:

E (%) = Qualidade (%) * Disponibilidade (%) * Desempenho (%)

Observou-se que os fatores Qualidade e Desempenho sempre se encontravam próximos a 100%, ao passo que o fator Disponibilidade sempre permanecia ao redor de 70% a 80%. A causa raiz identificada para a baixa Disponibilidade de Equipamentos era devida ao tempo empregado na lavagem de reatores, operação essa que se repetia sempre que ocorria a troca da linha de produtos a serem fabricados.

Como a eficiência da Planta se encontrava comprometida, a gerência da Fábrica Química decidiu abrir um Projeto Seis Sigma denominado “Redução do tempo empregado na lavagem de reatores”.

Outro fator que se acrescentou à justificativa da Fábrica Química para o lançamento desse projeto Seis Sigma foi a percepção de que os cerca de 15% do tempo produtivo consumido nas operações de lavagem dos reatores limitariam a capacidade de produção em um prazo de 6 meses, visto que as vendas cresciam naquela época a taxas de 3% ao mês.

Como a Fábrica Química é uma empresa pequena que não conta com recursos para montar um programa Seis Sigma e formar os *Belts* necessários, recorreu à ajuda do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que lhe forneceu um curso introdutório e trabalhou em conjunto com a empresa no desenvolvimento do projeto Seis Sigma.

4.6.2.1 Metodologia de aplicação do DUMAIC no projeto Lavagem de Reatores

A Pesquisa Ação nesse projeto desenvolveu-se como apresentado na Figura 37, e gerou o *Workbook 1,* apresentado no Apêndice D deste documento.

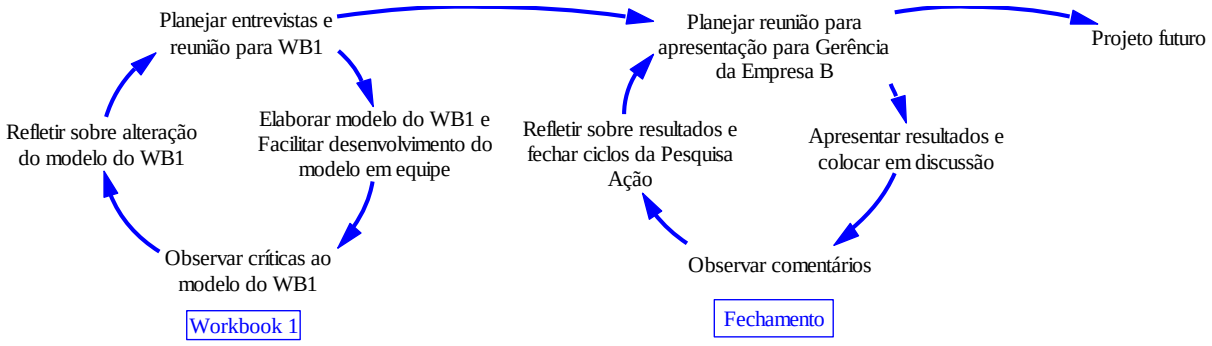


Figura 37. Ciclos maiores da Pesquisa Ação do projeto Lavagem de Reatores
Fonte: A autora

Em seguida, segue o relato da pesquisa.

O curso sobre Seis Sigma foi finalizado por integrantes do 1º e 2º escalões da Fábrica Química. Os documentos existentes que quantificavam o problema foram postos à disposição para a autora deste documento, que atuou como facilitadora do grupo.

Iniciou-se então a aplicação do DUMAIC, seguindo o fluxo apresentado na Figura 27 deste documento.

Na fase Definir, na Ação 1 da fase Entender, a questão colocada para a facilitadora, para ela mesma, foi a seguinte: Há indícios de que a equipe se comporte segundo o arquétipo “Transferência de responsabilidade”? A equipe enxerga o projeto como “aumentar a dose do mesmo remédio”?

A resposta foi “Sim”, pois a equipe, já na apresentação do projeto, compartilhava a idéia de que havia uma altamente provável causa raiz dessa ineficiência, que era o tempo parado para lavagens dos reatores. Como no passado muitas ações já tinham sido implementadas para melhorar esse processo, a equipe falava em refinar ainda mais o mesmo. Era necessário, portanto, fazer uma aplicação prática de desenvolvimento do pensamento sistêmico e questionar o modelo mental dos envolvidos para que outros pontos de alta alavancagem fossem descobertos.

Foi então que a facilitadora perguntou ao responsável pelo projeto por que era necessário lavar tantas vezes os reatores.

A resposta, que parecia óbvia para o pessoal de produção da Empresa B, foi que, como a planta busca aumentar a flexibilidade, muitas trocas de produção são necessárias e conseqüentemente, muitas lavagens dos reatores são feitas para deixá-los limpos para as próximas bateladas. Acrescentou ainda que era importante diminuir ao máximo o tempo de lavagens dos reatores para aumentar o tempo

disponível para produção. Nesse sentido, muitas ações já haviam sido tomadas anteriormente, mas, o projeto Seis Sigma deveria auxiliar a equipe a trabalhar de maneira mais eficiente e aumentar o desempenho do processo.

Esse era, portanto, o momento ideal para questionar o modelo mental existente. Para tanto, foram colocadas algumas perguntas pela facilitadora:

"- Considerando que a flexibilidade da planta implicava em várias trocas de produção, existiria como melhorar a seqüência dessas trocas no planejamento da produção?"

"- Existia uma preocupação do responsável pelo planejamento da produção, em definir uma seqüência de produção de produtos semelhantes, de modo a minimizar o número de lavagens dos reatores na área produtiva?"

Observou-se que o pessoal de produção e o de planejamento da produção, desconsiderava o fato de que a definição do seqüenciamento de produção poderia afetar negativamente o indicador de Disponibilidade de reatores na linha de produção.

Nesse caso, diferentemente do projeto Cliente Retira, o modelo mental existente levava a equipe Seis Sigma a enxergar apenas as causas endógenas ao setor de produção para o problema, o que a levou a lançar o projeto Seis Sigma direcionado para a redução dos tempos de lavagem e de *set up* dos reatores. O questionamento desse modelo mental permitiu que a equipe enxergasse que uma parte do problema era gerada por uma causa exógena oriunda do setor de planejamento da produção, que, devido ao seqüenciamento inadequado das ordens de produção, provocava a necessidade de lavagens adicionais dos equipamentos.

Considerando essa nova visão do problema, passou-se para a finalização da etapa Definir do DUMAIC. O responsável pelo planejamento da produção foi inserido na equipe do projeto; algumas alterações foram feitas no escopo do projeto, nas metas e nos indicadores, de forma a considerar o planejamento da produção como uma parte do problema a ser melhorada.

Na seqüência do fluxo do DUMAIC, conforme a Figura 27 deste documento, verificou-se se o problema apresentava características de complexidade dinâmica.

Pelo menos uma característica de complexidade dinâmica foi identificada nesse momento: o sistema era dinâmico porque a saída (tempo gasto para lavagem dos reatores) dependia da história temporal de uma entrada que era a seqüência das ordens de produção. Passou-se assim para a construção do modelo em equipe.

Passo1: Analisar a documentação existente sobre o comportamento temporal do CTQ do problema.

A variável “número de horas de lavagem / número de horas de produção” foi definida como o Y ou CTQ do projeto. O período de jan/2004 a mai/2006 foi considerado para levantar o gráfico de série temporal do seu comportamento no tempo. Esse passou a ser o Modo de Referência do projeto.

Passo 2: Apresentar os conceitos de Dinâmica de Sistemas para a equipe do projeto

Foi realizada uma apresentação pela facilitadora de cerca de uma hora, sobre os conceitos da Dinâmica de Sistemas para os integrantes da equipe.

Passo 3: Realizar entrevistas individuais com os participantes da equipe do projeto a fim de explicitar os modelos mentais

Foram realizadas entrevistas individuais pela facilitadora com cada integrante da equipe. Como os integrantes possuíam muitos anos de trabalho juntos na empresa B, os modelos mentais sobre o problema eram bastante similares.

Passo 4: Preparar o *workbook*

A facilitadora, tomando como base o gráfico do modo de referência, diversos documentos da produção e as entrevistas de explicitação dos modelos mentais da equipe, elaborou o *Workbook* 1, que se encontra no Apêndice D deste documento, contendo as questões sobre cada relacionamento, entre duplas de variáveis e um Diagrama de Enlace Causal inicial. Como citado anteriormente, o diagrama inicial não teve como objetivo apresentar um modelo pronto para a equipe, mas sim, servir de base para iniciar a discussão em equipe.

Passo 5: Responder questões do *workbook*

O *Workbook* 1 foi recebido pelos participantes da equipe para responderem as questões.

Passo 6: Ajustar modelo qualitativo segundo observações do *workbook*

Como o processo a ser modelado era simples, não houve necessidade de alterações no Diagrama de Enlace causal inicial.

Passo 7: Atualizar o *workbook*

Não houve necessidade de se atualizar o *workbook.*

Passo 8: Repetição dos passos 5, 6 e 7 até a concordância consensual da equipe

Não houve necessidade de realizar o passo 8, pois o modelo foi dado como finalizado.

Passo 9: Tirar conclusões do modelo e continuar com o DUMAIC

As conclusões principais sobre quais eram as variáveis importantes que interferiam no sistema e que geravam o comportamento dinâmico do sistema, puderam ser tiradas. Assim foi finalizada a Ação 2 da fase Entender.

A partir desse ponto, passou-se à finalização da etapa Medir do DUMAIC e em seguida às etapas Analisar, Melhorar e Controlar que foram realizadas como no DMAIC.

4.6.2.2 Resultado da Construção do Modelo em Equipe no projeto Lavagem de Reatores

O problema inicialmente foi declarado como sendo o “tempo gasto para lavagens dos reatores”. Isso era um problema porque diminuía a disponibilidade, e por conseqüência, a eficiência da planta.

O CTQ “número de horas de lavagem / número de horas de produção” considerado como o Modo de Referência do problema, foi levantado entre o período de jan/2004 a mai/2006 e está apresentado na Figura 38. O que se pôde observar foi que os valores oscilaram bastante de mês a mês.

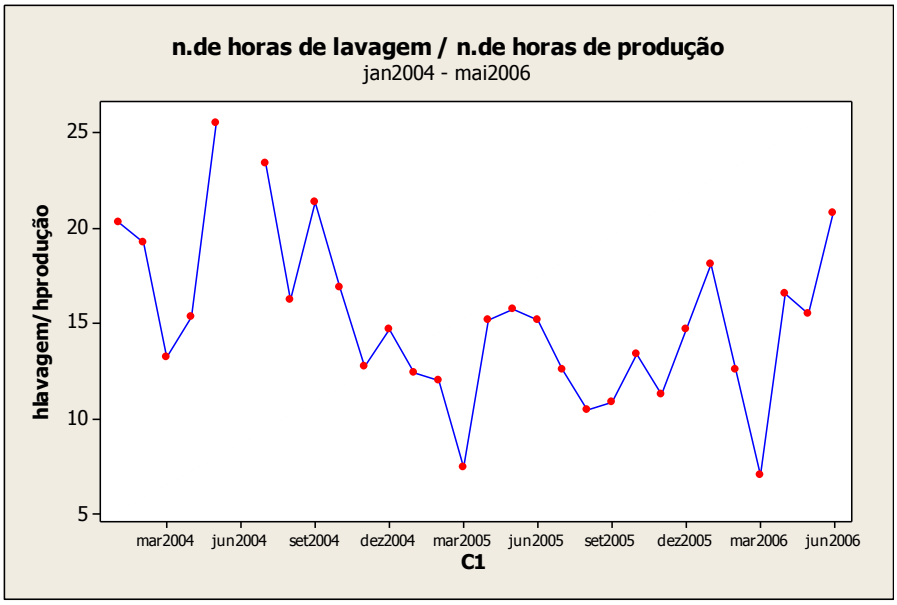


Figura 38 - Modo de Referência do projeto Lavagem de Reatores
Fonte: Empresa B

Em seguida, a facilitadora preparou o *Workbook* 1 deste projeto. No final do *Workbook* 1 foi sugerido um Diagrama de Enlace Causal inicial que está apresentado na Figura 39.

Redução no tempo empregado na lavagem de reatores

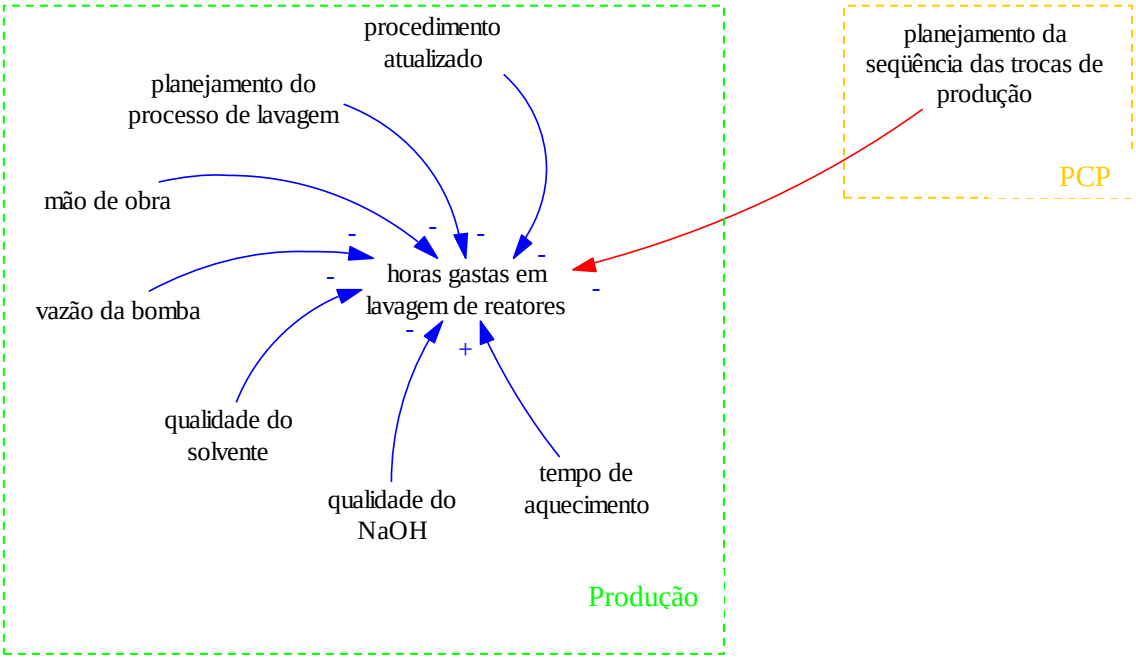


Figura 39 - Diagrama de Enlace Causal inicial do projeto Lavagem de Reatores
Fonte: A autora

No diagrama, o CTQ “número de horas de lavagem / número de horas de produção” foi renomeado como “horas gastas em lavagem de reatores”, para efeito de simplificação.

As variáveis causais que a equipe citou nas entrevistas de explicitação de modelos mentais foram colocadas dentro de uma área rotulada como “Produção”, já que eram variáveis que essa equipe tinha responsabilidade e ação sobre elas. Várias apresentavam um relacionamento negativo com o CTQ: procedimento atualizado, planejamento do processo de lavagem, mão de obra, vazão da bomba, qualidade do solvente, qualidade do NaOH. Apenas a variável “tempo de aquecimento” apresentava um relacionamento positivo com o CTQ. Essas eram as variáveis causais óbvias para a equipe do projeto.

Do mesmo modo, do lado direito do CTQ foi indicada como influenciadora, a variável “planejamento da seqüência das trocas de produção”, que foi inserida dentro da área

denominada “PCP” por ser de responsabilidade desse outro departamento. Essa era uma variável causal não óbvia para a equipe.

Por se tratar de um processo simples, o Diagrama de Enlace Causal inicial foi aceito pela equipe e não houve necessidade de alterações.

4.6.2.3 Discussão sobre os resultados do DUMAIC no projeto Lavagem de Reatores

A Construção do Modelo em Equipe foi simples, pois já no Diagrama de Enlace Causal inicial, a facilitadora havia inserido a variável “planejamento da seqüência das trocas de produção”, que era a variável exógena do sistema. Em reunião com a equipe do projeto esse modelo permaneceu. O processo não apresentou malhas de realimentação.

Um ponto importante nesse projeto foi o questionamento do modelo mental da equipe a respeito de que as causas do problema eram internas ao setor de produção. Sem esse questionamento, a equipe continuaria enxergando o projeto como aumentar a dose do mesmo remédio e não teria sido possível encontrar o ponto de alta alavancagem que se encontrava em outro setor, o de planejamento da produção.

Ficou constatado que as formas de pensar não-sistêmicas são particularmente prejudiciais porque levam a focalizar as mudanças de baixa alavancagem, que normalmente apresentam melhorias apenas no curto prazo. Essa é uma característica do arquétipo “Transferência de Responsabilidade”, quando o modelo mental não permite enxergar que a solução fundamental pode estar além da fronteira do próprio departamento.

As soluções que eram familiares à equipe Seis Sigma da Empresa B, tais como, alterar o procedimento de lavagem, especificar novos materiais de limpeza, modificar as vazões de entrada e saída dos materiais de limpeza, entre outras, não iriam por si só resolver adequadamente o problema no longo prazo. O fato de insistir apenas nessas ações de correção iria aumentar os gastos no projeto, colocando em dúvida os benefícios que esse programa poderia trazer, visto que esse era o primeiro projeto Seis Sigma na Empresa B.

Os benefícios de ampliação da visão sistêmica pela aplicação do DUMAIC foram sentidos logo na fase Analisar do projeto. Nessa fase verificou-se que a causa "planejamento da seqüência das trocas de fabricação" era responsável por aproximadamente 40% do tempo gasto em lavagens dos reatores, ou seja, apenas interferindo no Planejamento da Produção poderia ser reduzido em 40% o tempo usualmente empregado em lavagem de reatores. Sem a mudança do modelo mental da equipe, essa grande causa do problema, que era não óbvia, não iria ser levada em consideração.

Na fase Melhorar do DUMAIC, a Empresa B optou por trabalhar nas duas frentes: melhorou o Planejamento de Produção e efetuou as mudanças julgadas necessárias para a diminuição do *setup*. Atualmente, a disponibilidade de equipamentos se situa ao redor de 93% sendo que mudança de programação e as melhorias de *setup* contribuem igualmente para a evolução do indicador.

Este projeto foi importante, pois apresentou um exemplo da falha que normalmente ocorre nos modelos mentais: ao julgar causalidade, normalmente se considera a proximidade de tempo e espaço entre a causa e o efeito. Neste caso, isso não acontecia, pois a causa "planejamento da seqüência das trocas de fabricação" e o efeito "horas gastas em lavagem de reatores" se encontravam distantes no tempo (o planejamento das trocas se dava bem antes que a lavagem dos reatores) e no espaço (o planejamento das trocas era feito no PCP e a lavagem dos reatores se dava na Produção).

Uma avaliação *a posteriori* leva a crer que o nome do projeto deveria passar a ser "Aumento da Disponibilidade de equipamentos" e não "Redução do tempo empregado na lavagem de reatores".

Como no caso do projeto anterior, para cumprir os objetivos da Pesquisa Ação de tornar a ação mais eficaz e gerar conhecimento científico, esse caso também gerou um artigo que foi apresentado em uma das sessões temáticas do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção em 2007, em Foz do Iguaçu (JANSEN; JANSEN, 2007) e encontra-se publicado nos anais desse congresso.

4.6.3 Projeto Purificação de Água

Esse projeto Seis Sigma foi aberto no Laboratório Central do Hospital C, porque ocorriam muitas paradas para realizar ações preventivas e corretivas no sistema de purificação da água que é utilizada nos equipamentos de realização de exames de sangue. O objetivo do projeto foi o de aumentar a disponibilidade desse sistema de purificação de água.

A importância do projeto residiu no fato de que vários exames realizados pelo setor de Bioquímica Clínica não poderiam ser realizados sem que a água utilizada para a realização desses exames estivesse dentro da qualidade requerida e na quantidade necessária. A “qualidade da água” e o “volume adequado de água pura” eram, portanto, duas variáveis importantes no sistema. Valores fora da meta dessas variáveis faziam o sistema de purificação parar para ações preventivas ou corretivas.

Como o Hospital C estava iniciando seu Programa Seis Sigma, a equipe do projeto foi composta por *Green Belts* recém formados. Algumas pessoas da equipe eram ligadas ao problema e outras pessoas não tinham ligação direta com o mesmo, porém, participar da equipe neste primeiro projeto serviria como treinamento adicional antes que os mesmos fossem imbuídos da coordenação de projetos em suas áreas de trabalho. Isso tornou a equipe do projeto bastante heterogênea.

A autora deste documento não atuou como facilitadora de implantação do DUMAIC nesse projeto, mas sim como orientadora para a implantação do DMAIC, visto que o Hospital C iniciava seus primeiros projetos Seis Sigma. Porém, durante a etapa Melhorar, a autora pôde apresentar os conceitos da Dinâmica de Sistemas Qualitativa e realizar um exercício de implantação do DUMAIC junto à equipe do projeto para ampliar a visão sistêmica dos seus integrantes.

4.6.3.1 Metodologia de aplicação do DUMAIC no projeto Purificação de Água

A Pesquisa Ação nesse projeto desenvolveu-se como apresentado na Figura 40. Foram gerados dois *Woorkbooks*. O *Workbook* 1 se encontra no Apêndice E deste documento e o *Workbook* 2 no Apêndice F.

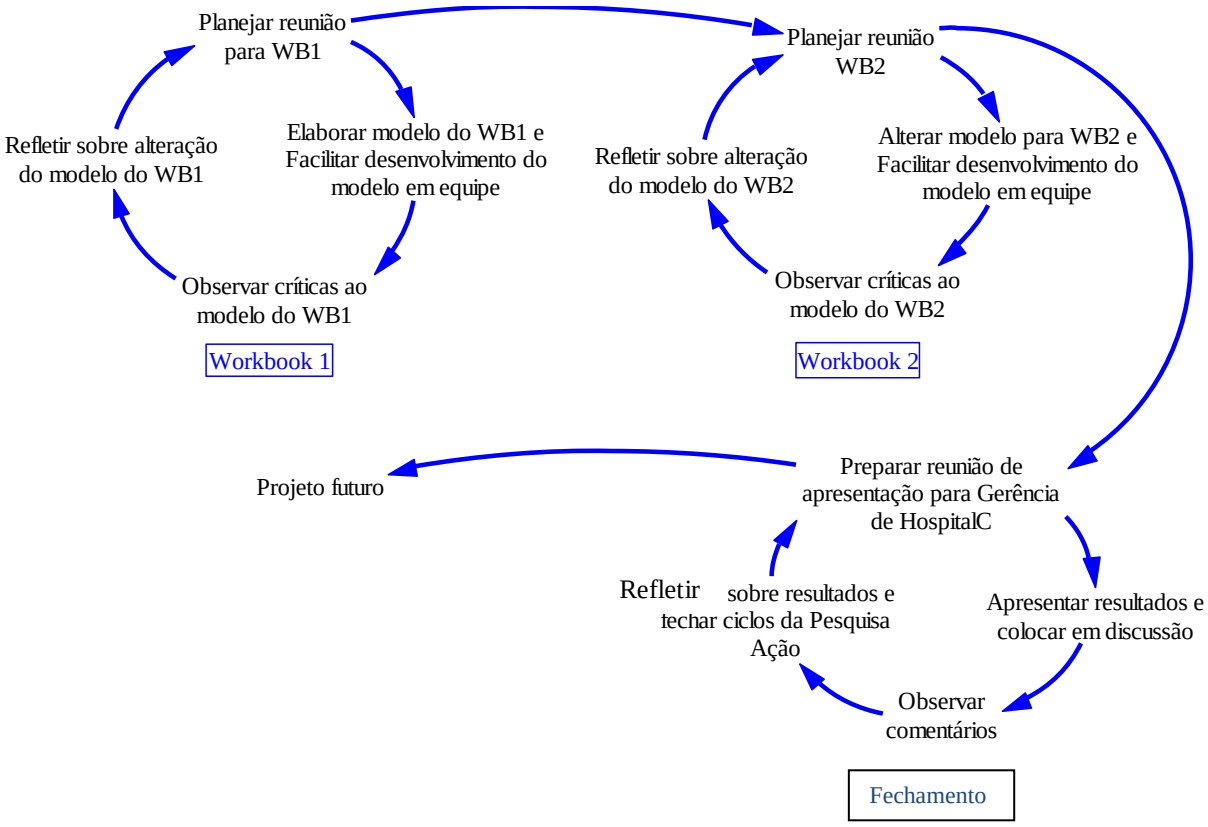


Figura 40 - Ciclos maiores da Pesquisa Ação do projeto Purificação de Água
Fonte: A autora

Em seguida, segue o relato da pesquisa.

Apesar do conhecimento que as pessoas da equipe de projeto ligadas ao processo do sistema de purificação de água possuíam sobre os problemas que levavam o sistema a parar, um projeto de melhoria formal sobre esse assunto ainda não tinha sido realizado no Hospital C. Portanto, a questão da Ação 1 da fase Entender do DUMAIC, conforme Figura 27 deste documento, perguntando se havia indícios de que a equipe se comportava segundo o arquétipo “Transferência de responsabilidade”, não fazia sentido nesse projeto. A resposta era Não.

Quanto às características de complexidade dinâmica, o sistema era nitidamente dinâmico. Podia-se perceber que, quando a qualidade ou o volume de água na saída do sistema apresentasse um valor fora do estipulado (*set point*), uma malha de realimentação negativa atuava por intermédio das ações corretiva ou preventiva, fazendo com que o sistema retornasse ao valor requerido.

Passou-se então no exercício à construção do modelo em equipe. A seguir são apresentados os passos realizados:

Passo1: Analisar a documentação existente sobre o comportamento temporal do CTQ do problema

A variável Y ou CTQ escolhida foi “horas trabalhadas” pelo sistema de purificação de água. Ela passou a representar o Modo de Referência do problema.

Passo 2: Apresentar os conceitos de Dinâmica de Sistemas para a equipe do projeto

Foi realizada uma apresentação pela autora deste documento de cerca de uma hora sobre os conceitos da Dinâmica de Sistemas.

Passo 3: Realizar entrevistas individuais com os participantes da equipe do projeto a fim de explicitar os modelos mentais

Como a autora deste documento havia acompanhado a implantação do DMAIC desde o início e havia discutido o problema com todas as pessoas da equipe, esse passo não foi realizado.

Passo 4: Preparar o *workbook*

Com o conhecimento do problema e dados levantados ao longo do acompanhamento do projeto, e sabendo que o sistema possuiria pelo menos uma malha de realimentação negativa, a autora deste documento preparou o *Workbook* 1 contendo os relacionamentos entre pares de variáveis e o Diagrama de Enlace Causal inicial do problema.

Passo 5: Responder questões do *workbook*

Os participantes da equipe receberam *Workbook* 1. As questões foram discutidas durante uma reunião do projeto.

Passo 6: Em reunião com a equipe do projeto: ajustar modelo qualitativo segundo observações do *workbook*

Algumas alterações no Diagrama de Enlace Causal inicial foram solicitadas.

Passo 7: Atualizar o *workbook.*

A facilitadora atualizou o Diagrama de Enlace Causal inicial segundo as observações levantadas na reunião em grupo e preparou o *Workbook* 2.

Passo 8: Repetir os passos 5, 6 e 7.

5-a) Os participantes da equipe receberam *Workbook* 2. Novamente as questões foram discutidas durante uma reunião do projeto.

6-a) Ajustar modelo qualitativo segundo observações do *workbook*

Em reunião da equipe de projeto Seis Sigma, o Diagrama de Enlace Causal foi mais uma vez refinado.

7-a) Finalizar o modelo

Nesse momento foi considerado pela equipe toda, e pela facilitadora, que o modelo estava ajustado e o Diagrama de Enlace Causal foi considerado finalizado.

Passo 9: Tirar conclusões do modelo e continuar com o DUMAIC

As conclusões sobre quais eram as variáveis importantes que interferiam no sistema, sobre a existência das malhas de realimentação que geravam o comportamento dinâmico do sistema e sobre o relacionamento com variáveis externas ao Laboratório Central do Hospital C puderam ser tiradas.

4.6.3.2 Resultado da Construção do Modelo em Equipe no projeto Purificação de Água

O problema foi declarado como sendo a ocorrência de muitas paradas para tomada de ações preventivas e corretivas do sistema. Isso era um problema porque diminuía a disponibilidade do mesmo. A cada hora que o sistema não funcionava, aproximadamente 800 exames deixavam de ser realizados.

O gráfico de série temporal do CTQ “horas trabalhadas” foi considerado o Modo de Referência do problema e está apresentado na Figura 41.

Como era de se esperar, o gráfico temporal apresentava um valor de horas trabalhadas em um patamar constante sendo por vezes interrompido, caindo para um valor abaixo, quando havia necessidade de se realizar uma parada para efetuar uma ação corretiva ou preventiva.

O *Workbook* 1 apresentou o Diagrama de Enlace Causal inicial que está apresentado na Figura 42.

Após o Diagrama de Enlace Causal inicial ter sido proposto à equipe Seis Sigma no *Workbook* 1, algumas críticas a respeito dos relacionamentos de algumas variáveis surgiram. Na malha de realimentação negativa da água havia sido indicado que, quanto mais manutenção preventiva, maior era a purificação da água. Foi solicitada a alteração para quanto mais manutenção preventiva, mais pura é a água.

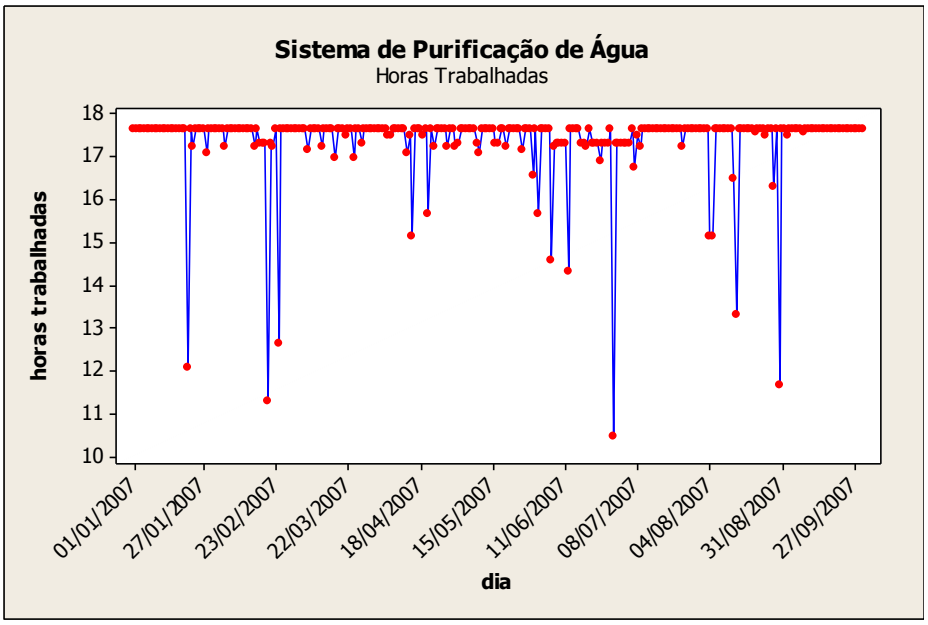


Figura 41 - Modo de Referência do projeto Purificação de Água
Fonte: Hospital C

Aumento da disponibilidade do Sistema de Purificação de Água

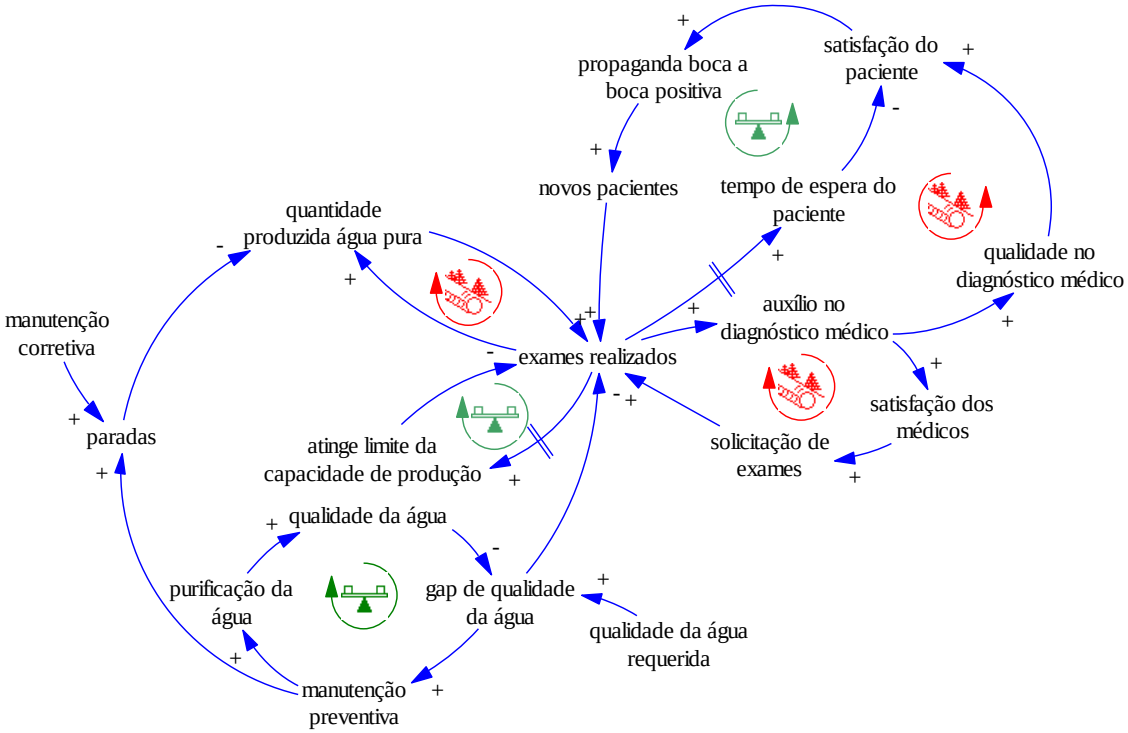


Figura 42 - Diagrama de Enlace Causal inicial do projeto Purificação de Água
Fonte: A autora

Consideradas essas alterações, o *Workbook* 2 passou a ser conforme apresentado na Figura 43.

Aumento da disponibilidade do Sistema de Purificação de Água

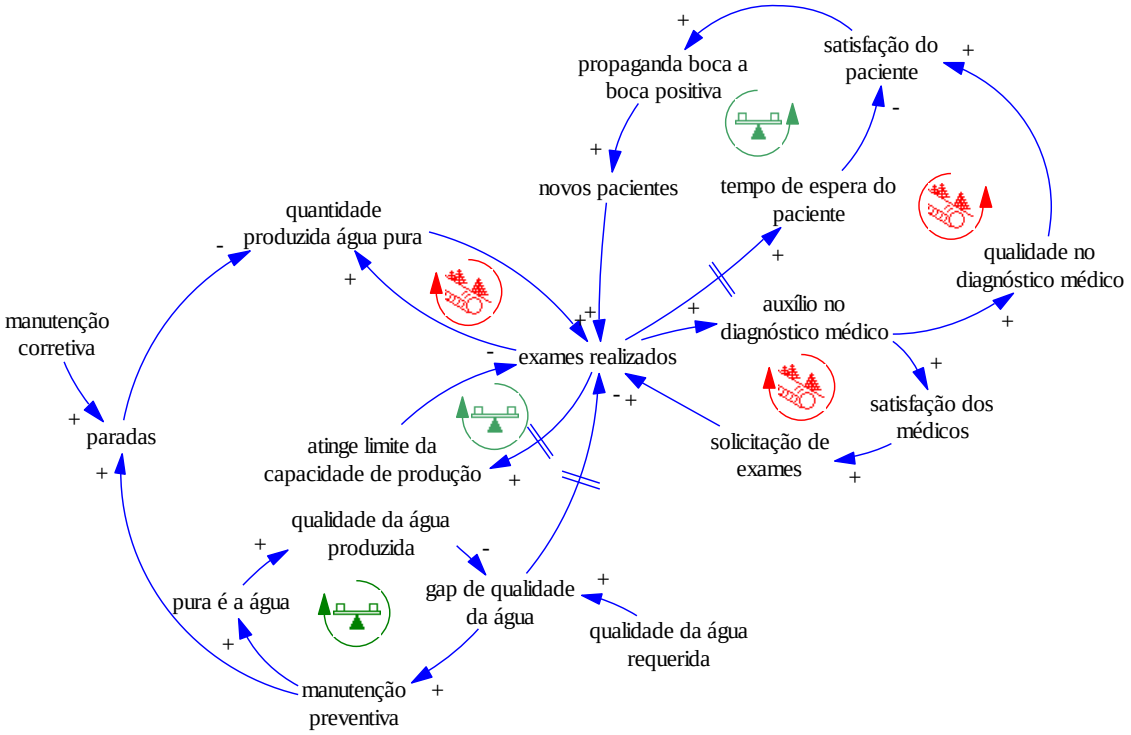


Figura 43 - Diagrama de Enlace Causal final do projeto Purificação de Água
Fonte: A autora

4.6.3.3 Discussão sobre os resultados do DUMAIC no projeto Purificação de Água

Durante a discussão para levantamento do modelo do projeto Purificação de Água, verificou-se que a malha de realimentação negativa que mantém o sistema em equilíbrio, é a da qualidade da água. Se o valor requerido não é alcançado, o sistema de purificação aciona alarmes solicitando manutenção. Em cada manutenção, preventiva ou corretiva, o sistema fica parado e, portanto, sem produzir água.

Mas, o modelo buscou ir além do sistema físico de purificação de água. Era interessante para a equipe de projeto aumentar sua visão sistêmica e saber como esse sistema físico afetava outros sistemas interligados. Então, foram representadas cinco malhas identificáveis a partir da variável “exames realizados”:

- Uma malha de realimentação positiva considerando a satisfação dos médicos. Quanto mais exames eram realizados, maior era o auxílio no diagnóstico médico, o que aumentava a satisfação dos médicos, que, por sua vez

solicitavam mais exames e que, portanto, levavam a que mais exames fossem realizados.

- Uma malha de realimentação positiva considerando a satisfação dos pacientes. Quanto mais exames eram realizados, maior era o auxílio no diagnóstico médico, maior era a qualidade no diagnóstico médico, que levava a uma maior satisfação do paciente, que aumentava a propaganda boca a boca da instituição, gerando novos pacientes e levando a que mais exames fossem realizados.
- A malha anterior era limitada por uma malha de realimentação negativa que surgia, pois quanto mais exames eram realizados, passado um intervalo de tempo, aumentava o tempo de espera do paciente, que levava à uma diminuição da satisfação do paciente e a menos propaganda boca a boca, diminuindo o número de novos pacientes e, por conseguinte, a que menos exames fossem realizados.
- Uma malha de realimentação negativa que limitaria a quantidade de exames realizados, passado certo tempo, era a própria capacidade de produção do sistema.
- Outra malha de realimentação positiva identificada era a que demonstrava que, quanto maior fosse a quantidade de água pura produzida, maior quantidade de exames poderiam ser realizados, o que demandaria maior quantidade de água pura.

É bom notar que, além desse projeto de purificação de água, foram lançados ao mesmo tempo, dois outros ligados à realização dos exames laboratoriais e um relativo à satisfação dos clientes por outras equipes de *Green Belts* recém-formados do Hospital C. Esse Diagrama de Enlace Causal trabalhado com a equipe integra esses quatro projetos.

Uma análise crítica a ser feita sobre os resultados da aplicação do DUMAIC nesse projeto é que o modelo qualitativo poderia ter sido mais explorado, como foram os outros modelos dos outros projetos anteriormente relatados. Como conseqüência, não foram identificados pontos de alta alavancagem para o sistema.

Alguns fatores que contribuíram para isso foram:

- A equipe era heterogênea, formada por integrantes de áreas muito distintas, o que levou à inexistência de um problema comum a todos;
- O projeto já estava em uma fase adiantada, na fase Melhorar do DMAIC, e os integrantes se sentiam pressionados para fechá-lo para abrirem outros projetos em suas áreas específicas.

Mesmo assim, como benefícios dessa aplicação do DUMAIC citam-se as primeiras sementes de visão sistêmica que a equipe plantou durante as reuniões para a modelagem do sistema. Se regadas, elas muito provavelmente irão germinar nos próximos projetos que aparecerão.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Foi citado anteriormente (ZUBER-SKERRITT; FLETCHER, 2007) que uma Pesquisa Ação deve ser um processo participativo e de colaboração em um caso real; deve contribuir para o conhecimento prático e teórico permitindo sua publicação; enfatizar a qualidade e não a quantidade; deve se primar pela ética e clareza. O trabalho aqui relatado buscou seguir essas diretrizes em todo o processo de sua realização.

A relevância do trabalho está na sugestão de uma maneira concreta de desenvolver o pensamento sistêmico nas equipes responsáveis pelos projetos de melhoria.

A contribuição teórica do trabalho foi a proposta do modelo DUMAIC com a introdução da fase Entender composta por duas ações nos projetos Seis Sigma. Nos trabalhos em que ele foi utilizado, demonstrou o benefício de sua implantação: ampliação do conhecimento sobre os sistemas em estudo, através do desenvolvimento metódico do Pensamento Sistêmico, o que permite tomar ações e decisões coerentes com o sistema, com efeitos de melhoria de longo prazo. Um ponto fundamental no DUMAIC é que os modelos mentais das pessoas envolvidas no sistema são naturalmente explicitados no decorrer do trabalho e, ao final da modelagem, todos possuem uma visão compartilhada do problema. Ao término dos projetos Seis Sigma isso pode ser traduzido em ganhos econômicos.

Um ponto interessante levantado durante o trabalho junto às equipes é que não é raro que o arquétipo “Transferência de Responsabilidade” direcione as análises de causa e efeito. Ou são buscadas soluções para os sintomas do problema ou são consideradas as primeiras soluções sugeridas para o combate das causas. No curto prazo, essas ações podem melhorar a situação, mas esse comportamento enfraquece a vontade da equipe sair em busca da solução fundamental, que irá efetivamente sanar o problema. A equipe do projeto Cliente Retira se comportava segundo esse arquétipo: buscavam soluções para o sintoma do problema, ou seja, para a ação do cliente retirar as mercadorias. Na etapa Entender do DUMAIC a equipe compreendeu que as raízes do problema eram outras, como as vendas urgentes, o baixo nível de serviço do passado, entre outras. E que a solução fundamental sairia das ações sobre essas causas.

Foi visto também que as fronteiras ou silos organizacionais contribuem para a formação dos modelos mentais. Uma ação positiva é questionar a interferência na dinâmica dos sistemas das variáveis situadas além das fronteiras dos departamentos. Um exemplo da influência dos silos inter-departamentais foi apresentado no projeto Lavagem de Reatores. A equipe do projeto analisava o problema dentro das fronteiras do departamento de produção, quando na realidade, parte do problema se iniciava em outro local, no departamento de planejamento da produção.

Os resultados obtidos das aplicações do DUMAIC demonstraram a viabilidade do seu uso em quaisquer projetos Seis Sigma que lidem com problemas de complexidade dinâmica.

Quanto às dificuldades na realização do trabalho pode-se dizer que existiram e não foram poucas, entre elas citam-se:

- Encontrar empresas que permitissem a entrada da pesquisadora no seu local de trabalho para realizar um trabalho acadêmico. Normalmente, esse é um processo que, antes que chegue ao final, no momento de se colher os frutos, causa uma perturbação nas rotinas de operação da empresa, como horas dispensadas para realização das entrevistas, reuniões para criação dos modelos, etc.
- Encontrar os projetos adequados para a utilização do modelo. Nem todos os problemas das empresas são da mesma natureza e, neste caso, deveriam ser problemas de complexidade dinâmica.
- Alinhar as necessidades do trabalho de pesquisa com as necessidades da empresa que acolhe o pesquisador. Esses trabalhos aqui relatados não foram os únicos projetos acompanhados. Fora esses, a pesquisadora acompanhou mais dois projetos na Empresa A e mais um projeto na Empresa B. No total, a implantação do DUMAIC foi aceita e iniciada em seis projetos. Nos dois projetos da Empresa A, os motivos que impediram a continuidade foram as mudanças estratégicas da empresa que levaram os projetos Seis Sigma a fecharem logo na fase inicial. Na Empresa B outro projeto havia sido iniciado em outro *site* da empresa, mas foi abortado devido à dificuldade de participação da equipe na modelagem da fase Entender, pois apesar de estar pressionada para a resolução do problema teve que priorizar outros, o que fez com que o projeto não alcançasse o término. Mas, felizmente, nos outros

projetos onde o modelo do DUMAIC foi implantado até o fim, os frutos puderam ser colhidos e os benefícios apresentados.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma sugestão a ser colocada é que, na fase Melhorar dos projetos Seis Sigma, os Diagramas de Enlace Causal realizados na fase Entender do DUMAIC, sirvam de base para os diagramas de Fluxo e Estoques e para as equações a serem formuladas em um modelo de simulação.

Como o Seis Sigma vem ganhando adeptos na área financeira, uma sugestão é que o DUMAIC seja implementado em um projeto desta área.

REFERÊNCIAS

ACKOFF, R. L. Beyond Total Quality Management. **The Journal of Quality and Participation**. Mar 1993. Vol 16, Num 2, pg 66, 11 pgs.

_____ . On the use of Models in Corporate Planning. **Strategic Management Journal**. Oct-Dec 1981, 2, 4, pg. 353.

_____ . What's wrong with "What's wrong with". **Interfaces***;* Sep/Oct 2003; 33, 5, p.78-82.

AGUIRRE, L. A. **Introdução à Identificação de Sistemas:** Técnica Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico:** Caderno de Campo: O Desafio da Mudança Sustentada nas Organizações e na Sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ANTONY, J. Six Sigma for Service Processes. **Business Process Management Journal**. 2006, 12, 2, pg. 234.

ANTONY, J.; DOWNEY-ENNIS, K.; ANTONY, F.; SEOW, C. Can Six Sigma Be the "Cure" for Our "Ailing" NHS?. **Leadership in Health Services**. Vol. 20, No. 4, 2007, pp. 242-253.

ANTONY, J.; KUMAR, M.; MADU, C. Six Sigma in Small-and-Medium-Sized UK Manufacturing Enterprises: Some Empirical Observations. **The International Journal of Quality & Reliability Management.** 2005, 22, 8/9, pg. 860.

ARGYRIS, C. The Next Challenge for TQM - Taking the Offensive on Defensive Reasoning. **The Journal for Quality and Participation***.* 22, 6, p. 41. Nov/Dec 1999.

ARGYRIS, C.; PUTMAN, R.; SMITH, D. **Action Science.** San Francisco: Jossey-Bass, 1985. Apud COUGHLAN, P. e COGHLAN, D. Action Research: Action Research for Operations Management. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 22, No. 2, 2002, p. 236)

BARROS, A. J. P.; LEHFELD, N. A. S. **Projeto de Pesquisa***:* Propostas Metodológicas. 14ª.ed. Petrópolis: Vozes, 2003.

BARTON, J.; EMERY, M.; FLOOD, R. L.; SELSKY, J. W.; WOLSTENHOLME. E. A Maturing of System Thinking? Evidence from Three Perspectives. **Systemic Practice and Action Research**. Feb 2004, 17, 1, pg. 3.

BELL, J. A.; BELL, J. F. **System Dynamics and Scientific Method. *In*:** RANDERS, J. (Ed.). **Elements of the System Dynamics Method.** Cambridge: Productivity Press, 1980, p. 3-22.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas***.* Petrópolis: Vozes, 1973.

_____ . The History and Status of General Systems Theory. **Academy of Management Journal (pre-1986)***.* Dec 1972; 15; 000004, pp. 407-426.

BIELSKI, L. Taking Notice of Data Quality. **American Bankers Association**. **ABA Banking Journal**. Dec 2005, 97, 12, pg. 41.

BISGAARD, S.; FREIESLEBEN, J. Six Sigma and the Bottom Line. **Quality Progress**. Sep 2004; 37, 9, pg. 57.

BREHMER, B. **In One Word:** Not from Experience. Apud STERMAN, J. D. **Business Dynamics:** Systems Thinking and Modeling for a Complex World. New York: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

BREYFOGLE III, F. 21 Common Problems (And What to Do About Them). **ASQ Six Sigma Forum Magazine**. Aug 2005, 4, 4, pg.35.

BREYFOGLE III, F.W. **Implementing Six Sigma:** Smarter Solutions Using Statistical Methods. New York: John Wiley & Sons, 1999.

CAPRA, F. The Crisis of Perception. **The Futurist***.* Jan-Fev 1990, 24, 1, p.64.

CARVALHO, M. M. **Histórico da Gestão da Qualidade**. ***In*:** CARVALHO, M. M. e PALADINI, E. P. (Coord.). **Gestão da Qualidade**: Teoria e Casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

CHURCHMAN, C. W. **Introdução à Teoria dos Sistemas.** Petrópolis: Vozes, 1971.

CONTI, T. From Infancy to Maturity: Rethinking the Role of ISO 9000 Standards, TQM and Business Excellence Models. **ASQ's Annual Quality Congress Proceedings**. 2004, 58, pg. 1.

CONTI, T. Quality and Value: Convergence of Quality Management and Systems Thinking. **ASQ World Conference on Quality and Improvement Proceedings.** 2005; 59.

CONTI, T. Quality Thinking and Systems Thinking. **The TQM Magazine**. Vol 18, No.3, 2006, pp. 297-308.

CORBEN, D.; STEVENSON, R.; WOLSTENHOLME, E. F. Holistic Oil Field Value Management: Using System Dynamics for "Intermediate Level" and "Value Based" Modelling in the Oil Industry. **Journal of the Operational Research Society**. 1999, 50, 383-391.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action Research: Action Research for Operations Management. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 22 No. 2, 2002, pp. 220-240.

COYLE, G. Qualitative and Quantitative Modelling in System Dynamics: Some Research Questions. **System Dynamics Review**. Autumn 2000, 16, 3, pg. 225.

COYLE, G. Rejoinder to Home and Oliva. **System Dynamics Review**. Winter 2001, 17, 4, pg. 357.

DE MAST, J.; BISGAARD, S. The Science in Six Sigma. **Quality Progress**. Jan 2007, 40, 1, pg. 25.

DICK, B. **Approaching an action research thesis:** an overview. Disponível em: <http://www.scu.edu.au/schools/gcm/ar/arp/phd.html>. Acesso em: 28 mai. 2008.

DOYLE, J. K.; FORD, D. N. Mental Models Concepts Revisited: Some Clarifications and a Reply to Lane. **System Dynamics Review**. Winter 1999, 15, 4, pg. 411.

DREACHSLIN, J. L. e LEE, P. D. Applying Six Sigma and DMAIC to Diversity Initiatives. **Journal of Healthcare Management**. Nov/Dec 2007; 52, 6, pg. 361.

EDEN, C. e HUXHAM, C. Action Research for Management Research, **British Journal of Management**, Vol.7, 1996, pp. 75-86. Apud Coughlan e Coghlan, 2002, p. 236)

FISCHER, L. M. The Prophet of Unintended Consequences. **Strategy + Business**. Fall 2005, Issue 40.

FOLARON, J.; MORGAN, J. P. The Evolution of Six Sigma. **ASQ Six Sigma Forum Magazine**. Aug 2003, 2, 4, pg. 38.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics.** Cambridge: The MIT Press, 1961.

GHARAJEDAGHI, J. **Systems Thinking:** Managing Chaos and Complexity. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2006.

GORDON, J. Take That to the Bank. **Training**. Jun 2006, 43, 6, pg. 40.

HAGEMEYER, C.; GERSHENSON, J.K. Classification and Application of Problem Solving Quality Tools: a Manufacturing Case Study. **The TQM Magazine**. Vol.18, No.5, 2006, pp. 455-483.

HALLOWELL, D. L. Causal Loop Diagrams: An Orientation in Software Context. Disponível em: <http://www.software.isixsigma.com >Acesso em 11 out. 2008.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma**: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. New York: Currency, 2000.

HARRY, M. J. Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability. **Quality Progress**. May 1998, 31, 5, pg 60.

HAYES, R.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHEELWRIGHT, S. **Operations, Strategy and Technology:** Pursuing the Competitive Edge. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.

HOERL, R. Banking on Six Sigma. **ASQ Six Sigma Forum Magazine**. May 2007, 6, 3, pg. 34.

HOERL, R.; SNEE, R. D.; CZARNIAK, S.; PARR, W. C. The Future of Six Sigma. **Six Sigma Forum Magazine**. Aug 2004, 3, 4, pg. 38-43.

HOMER, J.; OLIVA, R. Maps and Models in System Dynamics: a Response to Coyle. **System Dynamics Review**. Winter 2001, 17, 4, pg. 347.

JANSEN, L. K. C. e JANSEN, J. U. Pensamento Sistêmico em Projetos Seis Sigma: buscando mudanças de alta alavancagem. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais** Rio de Janeiro: Abepro, 2007.

JANSEN, L. K. C. e ROTONDARO, R. G. Aplicação da Dinâmica de Sistemas em Processo de Melhoria na Distribuição Logística. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 26, 2006, Fortaleza. **Anais** Rio de Janeiro: Abepro, 2006.

KAUFMANN, U. H.; CHIEH, C. J. Applying Systems Thinking to the Practice of Six Sigma. Disponível em: <http://www.software.isixsigma.com >Acesso em 05 jan. 2009.

KASPER, H. **Perspectivas em Pensamento Sistêmico**. ***In*:** ANDRADE, A. L.;SELEME, A.;RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico:** Caderno de Campo: O Desafio da Mudança Sustentada nas Organizações e na Sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 9ª edição. São Paulo: Perspectiva, 2007.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade.** São Paulo: Editora Gente, 1993.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Metodologia do Trabalho Científico. 6a.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LANE, D. C. Friendly Amendment: A Comentary on Doyle and Ford`s proposed re-definition of “mental model”. **System Dynamics Review**. Summer 1999, 15, 2, pg.185.

LUNA-REYES, L. F.; ANDERSEN, D. L. Collecting and Analyzing Qualitative Data for System Dynamics: Methods and Models. **System Dynamics Review**. Winter 2003, 19, 4, pg. 271.

MACKNESS, J. **Metodologia *Soft Systems* (SSM).** ***In:*** ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico:** Caderno de Campo: O Desafio da Mudança Sustentada nas Organizações e na Sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MIDGLEY, G. Systemic Intervention for Public Health. **American Journal of Public Health**. Mar 2006, 96, 3, pg. 466.

MIGUEL, P. A. C. **Gestão da Qualidade:** TQM e Modelos de Excelência. ***In*:** CARVALHO, M. M. e PALADINI, E. P. (Coord.). **Gestão da Qualidade**: Teoria e Casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

MINGERS, J. A Classification of the Philosophical Assumptions of Management Science Methods. **Journal of the Operational Research Society** (2003), 54, 559-570.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. Third Edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.

MORECROFT, J. D. W. **Executive Knowledge, Models, and Learning**. ***In***: MORECROFT, J. D. W.; STERMAN, J. D. **Modeling for Learning Organizations**. Portland: Productivity Press, 1994.

OGATA, K. **System Dynamics**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma:** Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

PIDD, M. Just Modeling Trough: A Rough Guide to Modeling. **Interfaces**. Mar/Apr 1999, 29, 2, pg. 118.

PIDD, M. **Modelagem Empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

PYZDEK, T. **The Six Sigma Handbook:** A Complete Guide for Green Belts, black Belts, and Managers at All Levels. New York: McGraw-Hill, 2003.

RANDERS, J. **Guidelines for Model Conceptualization.** ***In*:** RANDERS, J. **Elements of the System Dynamics Method.** Cambridge: Productivity Press, 1980.

REASON, P.; BRADBURY, H. **Handbook of action research participative inquiry and practice**. Thousand Oaks: Sage, 2001.

RICHARDSON, G.P. Reflections for the future of system dynamics. **Journal of the Operational Research Society***.* 50, 440-449, 1999.

RICHARDSON, G.P. The 1999 Jay Wright Forrester Award. Citation for Winner: Jac. A. M. Vennix. **System Dynamics Review**. Winter 1999, 15, 4. Pg. 375.

RIEBLING, N. B.; CONDON, S.; GOPEN, D. Toward Error Free Lab Work. **ASQ Six Sigma Forum Magazine**. Nov 2004, 4, 1, pg.23.

ROBERTS, N.; ANDERSEN, D.; DEAL, R. M.; GARET, M. S.; SHAFER, W. A. **Introduction to Computer Simulation:** The System Dynamics Approach. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1983.

ROTONDARO, R. (Org.). **Seis Sigma***:* Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços. São Paulo: Atlas, 2002.

RUSHING, W. M. Causal Loop Diagrams: Little Known Analytical Tool. Disponível em:< http://www.software.isixsigma.com>. Acesso em 11 out. 2008.

SAVOLAINEN, T.; HAIKONEN, A. Dynamics of Organizational Learning and Continuous Improvement sin Six Sigma Implementation. **The TQM Magazine**. Vol.19, No.1, 2007, pp. 6-17.

SCHEIN, E. H. Process consultation, action research and clinical inquiry, are they the same? **Journal of Managerial Psychology***,* Vol.10, n.6, 1999, pp.14-19. Apud COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action Research: Action Research for Operations Management. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 22 No. 2, 2002, pp. 220-240.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Modelo de Referência para Estruturar o Seis Sigma nas Organizações. **Gestão e Produção**. Jan-Abr 2008, v.5, n.1, pg. 43-56.

SCHNEIRDERMAN, A. Setting Quality Goals. **Quality Progress**. 21/4 (April 1988); 55-57. Apud STERMAN, J. D. System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World. **California Management Review**. Vol.43, No.4. summer 2001, p.13.

SCHWANINGER, M. Methodologies in Conflict: Achieving Synergies Between System Dynamics and Organizational Cybernetics. **Systems Research and Behavioral Science.** Jul/Aug 2004, 21, 4, pg. 411.

SEBRAESP. São Paulo. A presença das micro e pequenas empresas na economia brasileira. Disponível em http://www.sebraesp.com.br>. Acesso em: 05 jan. 2009.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM:** Quatro Revoluções na Gestão da Qualidade. Porto Alegre: Bookman, 1997.

SENGE,P. M. **A Quinta Disciplina**: Arte e Prática da Organização que Aprende. São Paulo: Nova Cultural, 2002.

STEINBERG, D. M. The Future of the Industrial Statistics: a Panel Discussion. **Technometrics**. May 2008, 50, 2, pg 103.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics:** Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Nova Iorque: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

_____ . System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World. **California Management Review**. Vol.43, No.4. summer 2001.

_____ . Learning from Evidence in a Complex World. **American Journal of Public Health**. Mar 2006, 96, 3, pg. 505.

STERMAN, J. D.; REPENNING, N. P.; KOFMAN, F. Unanticipated Side Effects of Successful Quality Programs: Exploring a Paradox of Organizational Improvement. **Management Science**. Apr 1997, 43, 4, pg. 503.

TROCHIM, W. M.; CABRERA, D. A., MILSTEIN, B.; GALLAGHER, R. S.; LEISCHOW, S. J. Practical Challenges of Systems Thinking and Modeling in Public Health. **American Journal of Public Health.** March 2006, Vol.96, N.3.

TURNER, R. E. Cause-and-Effect Diagrams Alone Don't Tell the Whole Story. **Quality Progress**. Jan 1997, 30, 1, pg. 53.

VENNIX, J. A. M. **Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics.** Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

_____ . Group Model Building: Tackling Messy Problems. **System Dynamics Review**. Winter 1999, 15, 4, pg. 379.

VENNIX, J. A. M.; GUBBELS, J. W. **Knowledge Elicitation in Conceptual Model Building: A Case Study in Modeling a Regional Dutch Health Care System.** ***In:*** MORECROFT, J.D.W., STERMAN, J.D. **Modeling for Learning Organizations**. Portland: Productivity Press, 1994.

WARD, S.; POLING, S. R. Six Sigma: The Power of Understanding Process Behavior. **Quality**. Sep 2007, 46, 9, pg. 22.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WESSEL, G. e BURCHER, P. Six Sigma for Small and Medium-Sized Enterprises. **The TQM Magazine.** Volume 16, Number 4, 2004, pp. 264-272.

WOLSTENHOLME, E. Using Generic System Archetypes to Support Thinking and Modelling. **System Dynamics Review**. Winter 2004, 20, 4, pg. 341.

WOLSTENHOLME, E. F. Qualitative vs. Quantitative Modelling: the Evolving Balance. **Journal of the Operational Research Society**. 1999, 50, 422-428.

_____ . Towards the Definition and Use of a Core Set of Archetypal Structures in System Dynamics. **System Dynamics Review**. Spring 2003,19,1, pg. 7.

ZUBER-SKERRIT, O.; FLETCHER, M. The quality of an action research thesis on the social sciences. **Quality Assurance in Education**. Vol.5, No.4, 2007, pp. 413-436.

ZUBER-SKERRIT, O.; PERRY, C. Action Research Within Organizations and University Thesis Writing. **The Learning Organization**. Vol. 9, No.4, 2002 pp. 171-179.

APÊNDICE A – PROJETO CLIENTE RETIRA / *WORKBOOK* 1

Data: 06/05/2006

1. **Objetivo do Projeto**

Identificar a real razão pela qual o cliente retira diretamente em Guararema e diminuir o número de ocorrências.

2. **Problema:** Retirada de mercadoria pelo cliente

Por que isso é um problema: Altera o fluxo natural do processo. Interrompe as atividades de rotina. O pessoal que atende o cliente para essas retiradas não tem condições de dar esse atendimento (trato com o cliente).

3. **Modo de Referência do comportamento**

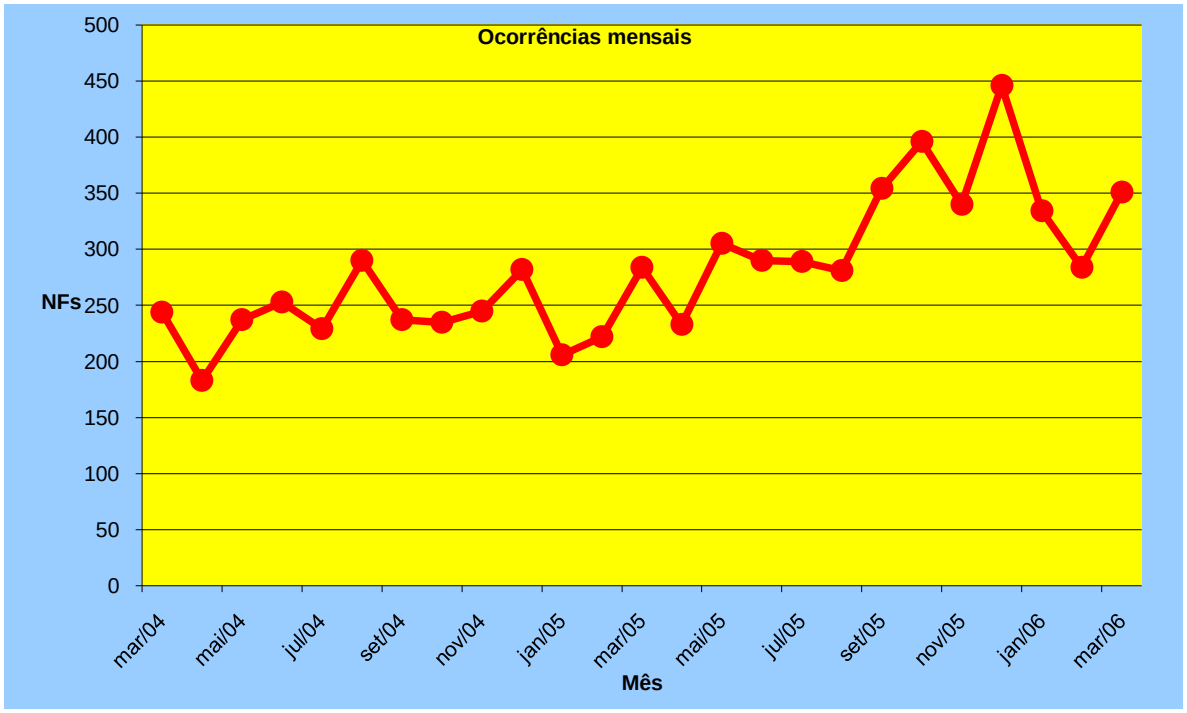
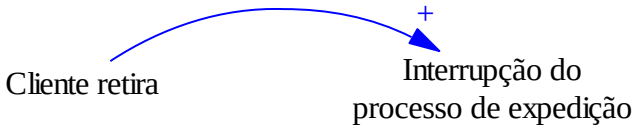


Gráfico 1. Retiradas mensais pelos clientes
Fonte: Empresa A

Pelo Gráfico 1 percebe-se que as retiradas mensais pelos clientes apresentam uma tendência de aumento.

4. **Identificação de Relacionamentos Causais**

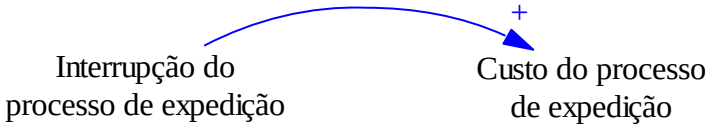
a. Quanto mais o cliente retira, maior é a interrupção do processo de expedição.



Tarefa a: Indique no Relacionamento Causal “a” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Alterar Interrupção do processo de expedição para Interrupção do processo de execução do tratamento do pedido. O fato do cliente retirar leva a: interrupção do faturamento, perturbação no processo de embalagem, atraso no fechamento, queda no nível de serviço, mais pessoas estranhas dentro da empresa levando a risco da segurança, perturbação no picking. A alteração da situação “Cliente Retira” depois da venda leva a correção da Nota Fiscal, atropelamento da informação , risco maior do cliente não ser atendido.

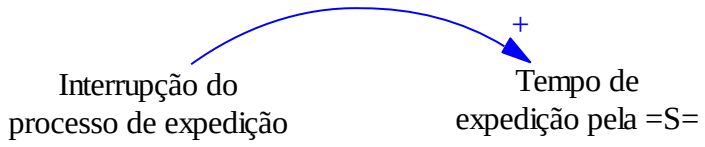
b. Quanto maior é a interrupção do processo de expedição, maior é o custo do processo de expedição.



Tarefa b: Indique no Relacionamento Causal “b” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Alterar Interrupção do processo de expedição para Interrupção do processo de execução do tratamento do pedido. Custo: estrutura, energia, transporte. Maior número de horas Maior risco de problema de relacionamento com transportadoras Maior risco de problema no relacionamento com o comercial Maior risco de insatisfação das pessoas que trabalham

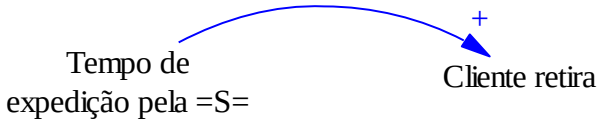
c. Quanto maior é a interrupção do processo de expedição, maior é o tempo gasto para a expedição pela =S=.



Tarefa c: Indique no Relacionamento Causal "c" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Alterar Interrupção do processo de expedição para Interrupção do processo de execução do tratamento do pedido.

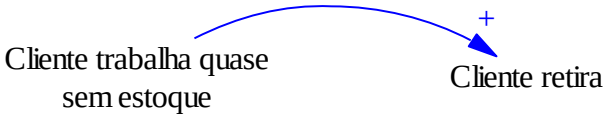
d. Quanto maior é o tempo de expedição pela =S=, mais o cliente retira.



Tarefa d: Indique no Relacionamento Causal "d" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

É duvidoso. Seria melhor colocar:
Tempo de expedição pela =S= $\xrightarrow{+}$ Cliente muda de fornecedor

e. Quanto mais o cliente trabalha quase sem estoque, mais o cliente retira.



Tarefa e: Indique no Relacionamento Causal "e" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

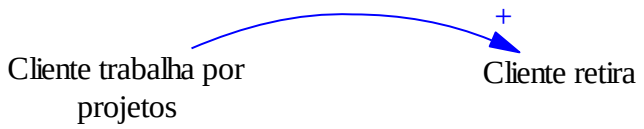
Seria melhor:

Cliente trabalha quase sem estoque $\xrightarrow{+}$ Pedidos Urgentes

Má administração do estoque $\xrightarrow{+}$ Cliente retira

Proximidade com o CD $\xrightarrow{+}$ Cliente retira

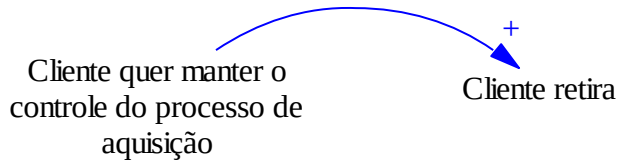
f. Quanto mais o cliente trabalha por projetos, mais o cliente retira.



Tarefa f: Indique no Relacionamento Causal "f" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

OK

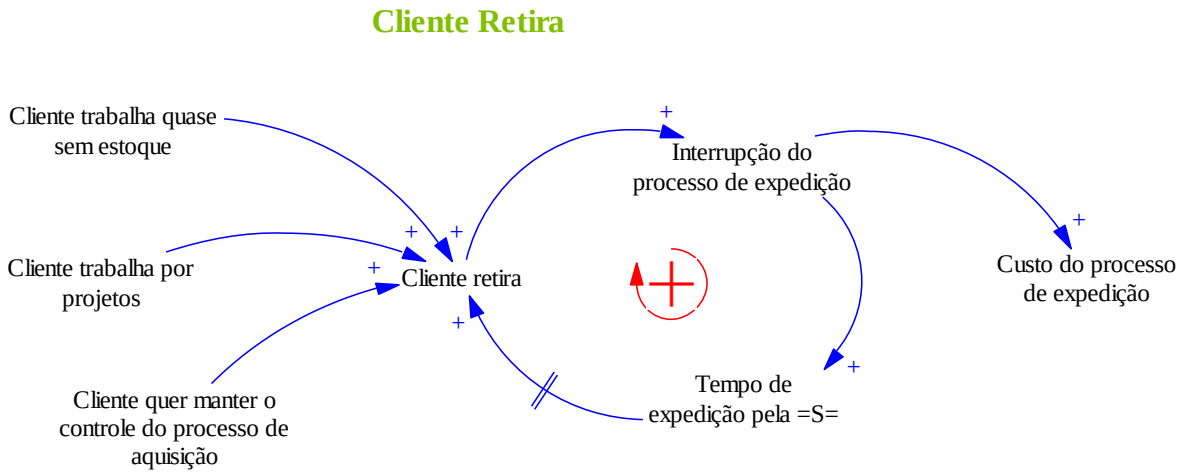
g. Quanto mais o cliente quer manter o controle do processo de aquisição, mais o cliente retira



Tarefa g: Indique no Relacionamento Causal "g" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

OK

5. Diagrama de Enlace Causal



Tarefa CLD: Indique no Diagrama de Enlace Causal quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

APÊNDICE B – PROJETO CLIENTE RETIRA / *WORKBOOK* 2

Data: 13/05/2006

1. **Objetivo do Projeto**

Identificar a real razão pela qual o cliente retira diretamente em Guararema e diminuir o número de ocorrências.

2. **Problema:** Retirada de mercadoria pelo cliente

Por que isso é um problema: Altera o fluxo natural do processo. Interrompe as atividades de rotina. O pessoal que atende o cliente para essas retiradas não tem condições de dar esse atendimento (trato com o cliente).

3. **Modo de Referência do comportamento**

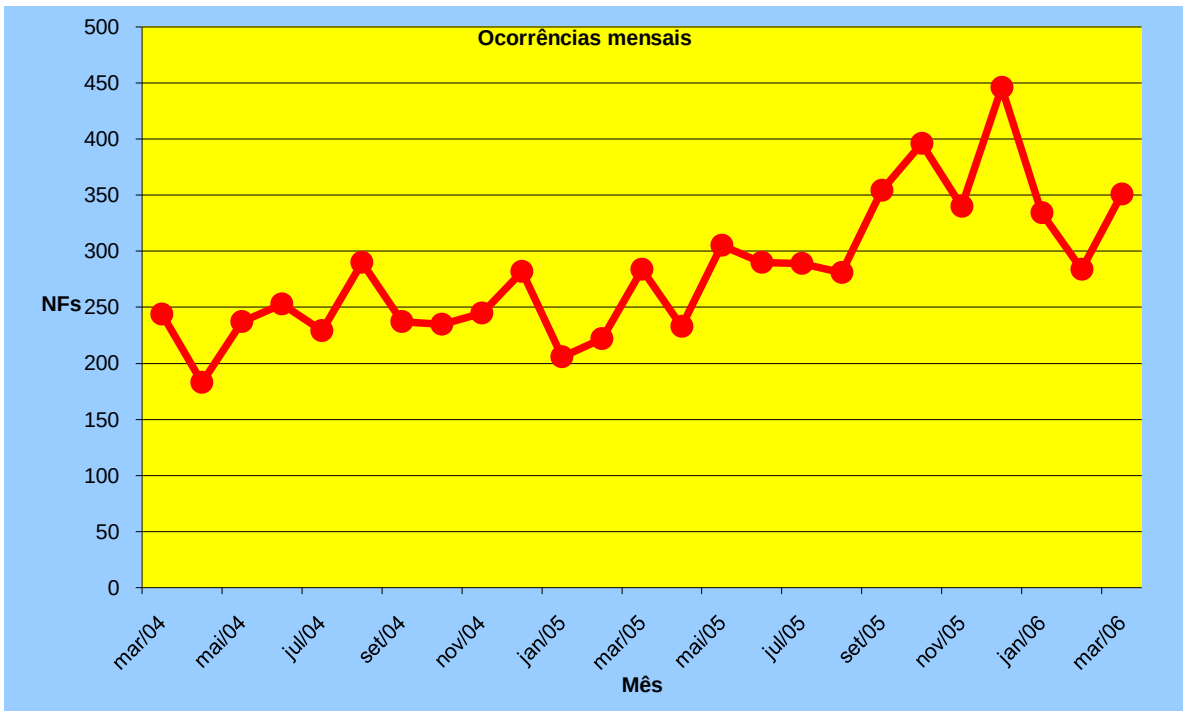
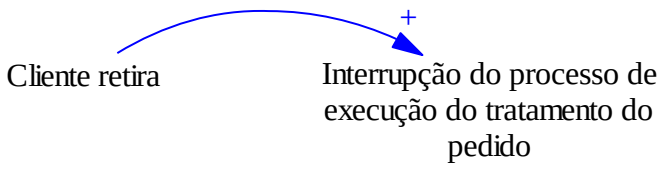


Gráfico 1. Retiradas mensais pelos clientes
Fonte: Empresa A

Pelo Gráfico 1 percebe-se que as retiradas mensais pelos clientes apresentam uma tendência de aumento.

4. **Identificação de Relacionamentos Causais**

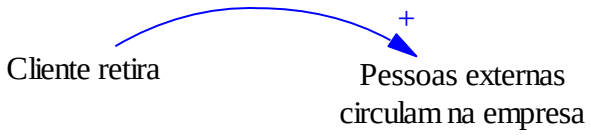
a. Quanto mais o cliente retira, maior é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido.



Tarefa a: Indique no Relacionamento Causal “a” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Cada interrupção no processo normal de expedição, além do impacto na produtividade, pode ocasionar uma queda no nível de serviço fornecido ao cliente (tanto aquele que se utiliza do transporte tradicionalmente utilizado e pago pela =S= quanto aquele que retira seu material diretamente no CD).

b. Quanto mais o cliente retira, mais pessoas externas circulam na empresa.



Tarefa b: Indique no Relacionamento Causal “b” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

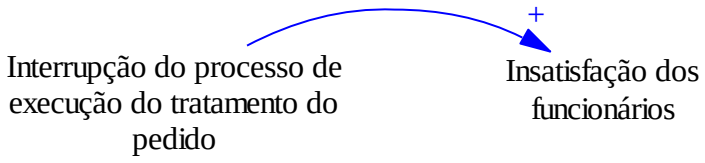
OK Outro ponto é a habilitação dos funcionários da expedição em atender ao cliente. O trato com o cliente não é atribuição dos mesmos.

c. Quanto mais pessoas externas circulam na empresa maior é o risco à segurança.

Tarefa c: Indique no Relacionamento Causal “c” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Guararema é uma planta voltada à produção, recepção e expedição de produtos voltados ao mercado. Por esta razão os serviços de base como segurança e outros, precisam estar viabilizados para atender ao cliente retira.

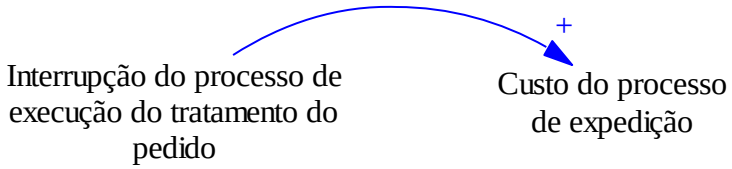
d. Quanto maior é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, maior é a insatisfação dos funcionários.



Tarefa d: Indique no Relacionamento Causal “d” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK A interrupção na atividade que traz ao funcionário seu indicador de desempenho, faz com que este indicador se reduza, gerando a insatisfação dos mesmos. Esta atividade, na proporção que está ocorrendo, não faz parte das atribuições dos expedidores.

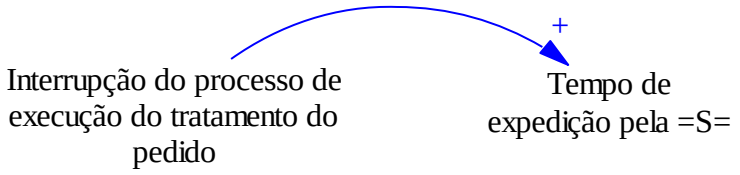
e. Quanto maior é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, maior é o custo do processo de expedição.



Tarefa e: Indique no Relacionamento Causal “e” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Em qualquer processo bem estabelecido, as interações extra processo demandam maior tempo em sua execução, maior possibilidade de erro, etc. Tudo isto certamente é fator de acréscimo de valor no processo total.

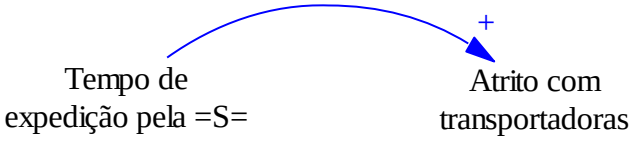
f. Quanto maior é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, maior é o tempo de expedição pela =S=.



Tarefa f: Indique no Relacionamento Causal “f” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Idem anterior.

g. Quanto maior é o tempo de expedição pela =S=, maior é o atrito com transportadoras.



Tarefa g: Indique no Relacionamento Causal “g” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK As transportadoras tem acordos operacionais contratados com a =S=. Em vista disto quaisquer transgressões a estes acordos são motivos de atritos.

h. Quanto maior é o tempo de expedição pela =S=, menor é o Nível de Serviço.

Tarefa h: Indique no Relacionamento Causal “h” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

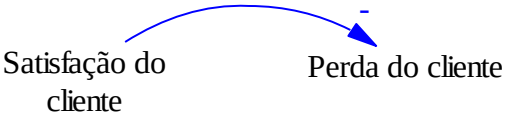
OK

i. Quanto menor é o Nível de Serviço, menor é a satisfação do cliente.

Tarefa i: Indique no Relacionamento Causal “i” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Exatamente! A cada vez que retardamos a saída de uma transportadora devido ao não cumprimento do processo no tempo devido, os penalizados são os clientes.

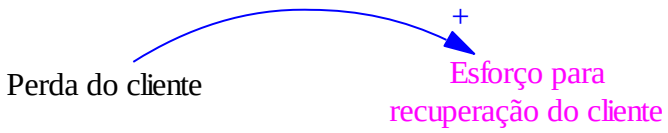
j. Quanto menor é a satisfação do cliente, maior é a perda do cliente.



Tarefa j: Indique no Relacionamento Causal “j” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM. Apesar dos produtos =S= terem uma excelente penetração no mercado, o cliente tem na concorrência, opções de substituição plenamente viáveis.

l. Quanto maior é a perda do cliente, maior é o esforço para recuperação do cliente.



Tarefa l: Indique no Relacionamento Causal "l" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

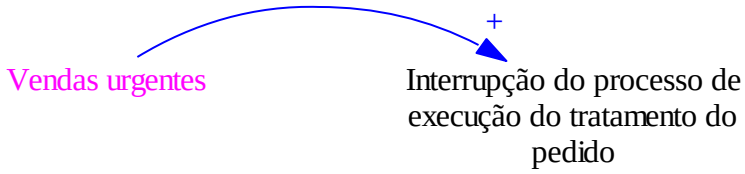
SIM

m. Quanto maior é o esforço para recuperação do cliente, maior é o número de vendas urgentes.

Tarefa m: Indique no Relacionamento Causal "m" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Os atendimentos das exigências dos clientes (quaisquer que sejam), efetivamente podem recuperar uma venda perdida. Todavia, tudo tem um custo benefício.

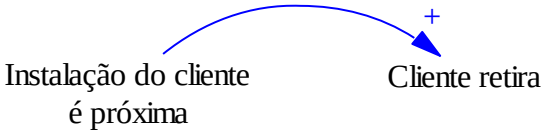
n. Quanto maior é o número de vendas urgentes, maior é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido.



Tarefa n: Indique no Relacionamento Causal "n" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM

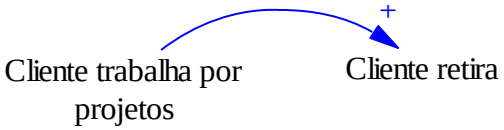
o. Quanto mais a instalação do cliente é próxima, mais o cliente retira.



Tarefa o: Indique no Relacionamento Causal "o" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Pode ser um dos fatores.

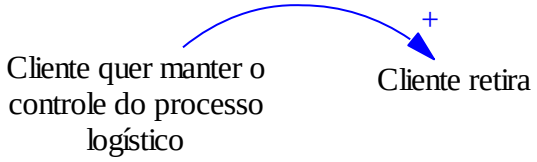
p. Quanto mais o cliente trabalha por projetos, mais o cliente retira.



Tarefa p: Indique no Relacionamento Causal "p" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

É uma das hipóteses observadas.

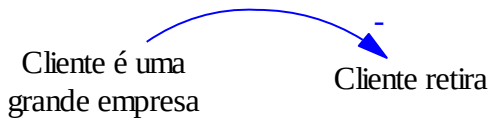
q. Quanto mais o cliente quer manter o controle do processo logístico, mais o cliente retira.



Tarefa q: Indique no Relacionamento Causal "q" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM. A este fato pode-se acrescentar à descrença por parte do cliente no processo de entrega da =S=.

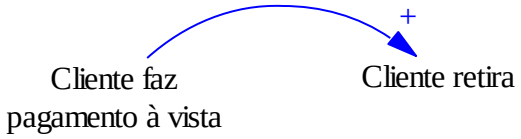
r. Quanto mais o cliente é uma grande empresa, menos o cliente retira.



Tarefa r: Indique no Relacionamento Causal “r” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Os clientes maiores conhecem o processo logístico e possuem equipes de planejamento que parametrizam suas necessidades de maneira a fazer que o produto seja comprado e entregue em tempo para o estabelecimento do seu processo comercial.

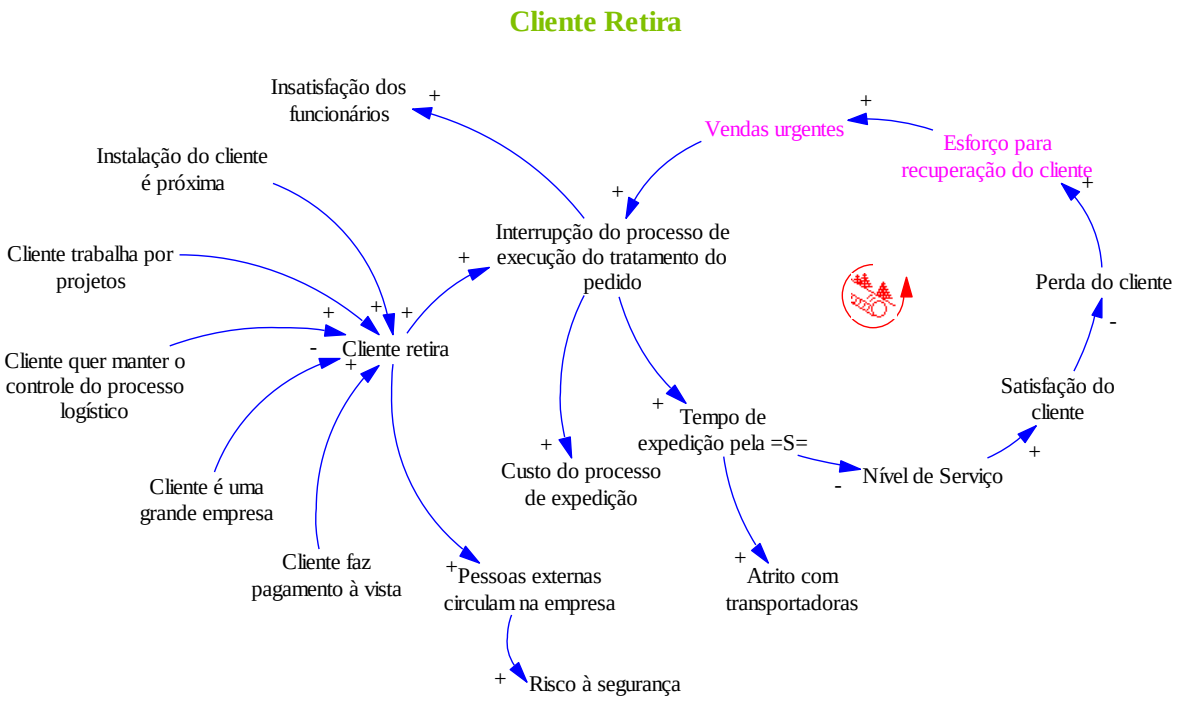
s. Quanto mais o cliente faz pagamento à vista, mais o cliente retira.



Tarefa s: Indique no Relacionamento Causal “s” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Pode ser uma evidência.

5. Diagrama de Enlace Causal



Tarefa CLD: Indique no Diagrama de Enlace Causal quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

APÊNDICE C – PROJETO CLIENTE RETIRA / *WORKBOOK* 3

Data: 29/06/2006

1. **Objetivo do Projeto**

Identificar a real razão pela qual o cliente retira diretamente em Guararema e diminuir o número de ocorrências.

2. **Problema:** Retirada de mercadoria pelo cliente

Por que isso é um problema: Altera o fluxo natural do processo. Interrompe as atividades de rotina. O pessoal que atende o cliente para essas retiradas não tem condições de dar esse atendimento (trato com o cliente).

3. **Modo de Referência do comportamento**

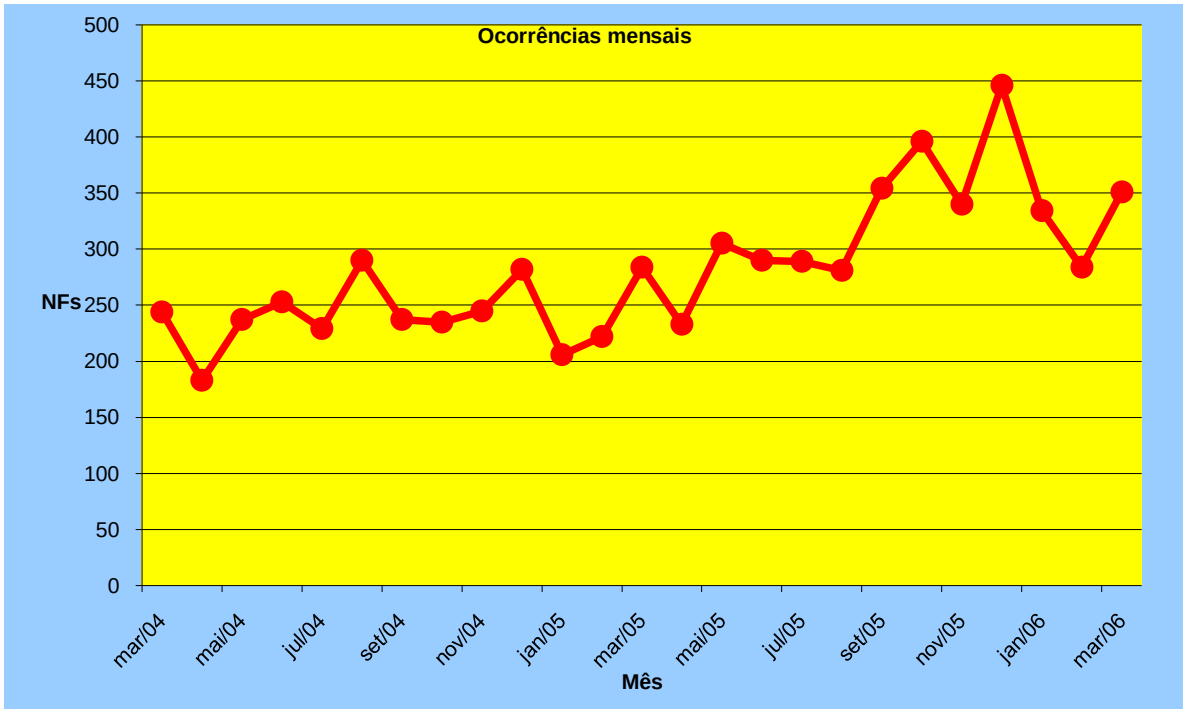
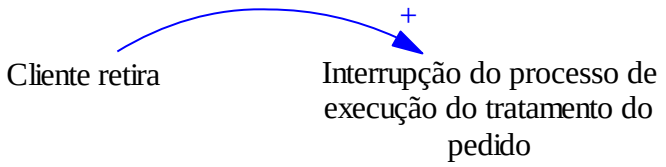


Gráfico 1. Retiradas mensais pelos clientes
Fonte: Empresa A

Pelo Gráfico 1 percebe-se que as retiradas mensais pelos clientes apresentam uma tendência de aumento.

4. **Identificação de Relacionamentos Causais**

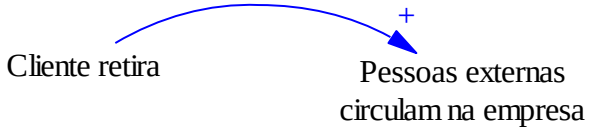
a. Quanto mais (menos) o cliente retira, maior (menor) é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido.



Tarefa a: Indique no Relacionamento Causal "a" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Cada interrupção no processo normal de expedição, além do impacto na produtividade, pode ocasionar uma queda no nível de serviço fornecido ao cliente (tanto aquele que se utiliza do transporte tradicionalmente utilizado e pago pela =S= quanto aquele que retira seu material diretamente no CD).

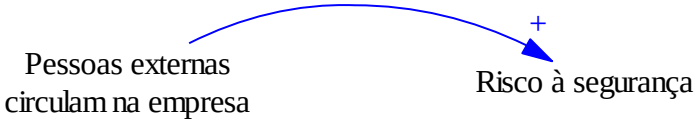
b. Quanto mais (menos) o cliente retira, mais (menos) pessoas externas circulam na empresa.



Tarefa b: Indique no Relacionamento Causal "b" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Outro ponto é a habilitação dos funcionários da expedição em atender ao cliente. O trato com o cliente não é atribuição dos mesmos.

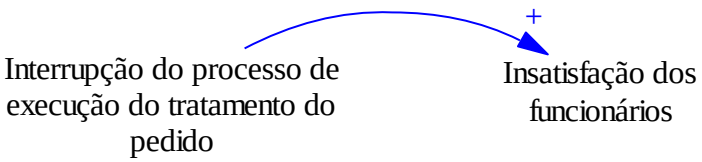
c. Quanto mais (menos) pessoas externas circulam na empresa maior (menor) é o risco à segurança.



Tarefa c: Indique no Relacionamento Causal “c” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Guararema é uma planta voltada à produção, recepção e expedição de produtos voltados ao mercado. Por esta razão os serviços de base como segurança e outros, precisam estar viabilizados para atender ao cliente retira.

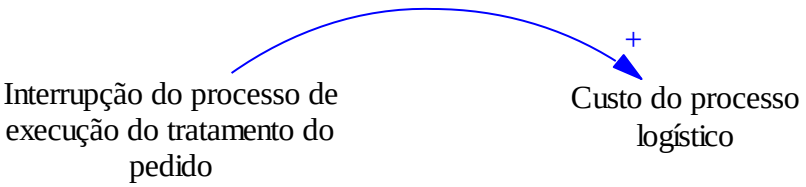
d. Quanto maior (menor) é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, maior (menor) é a insatisfação dos funcionários.



Tarefa d: Indique no Relacionamento Causal “d” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK A interrupção na atividade que traz ao funcionário seu indicador de desempenho, faz com que este indicador se reduza, gerando a insatisfação dos mesmos. Esta atividade, na proporção que está ocorrendo, não faz parte das atribuições dos expedidores.

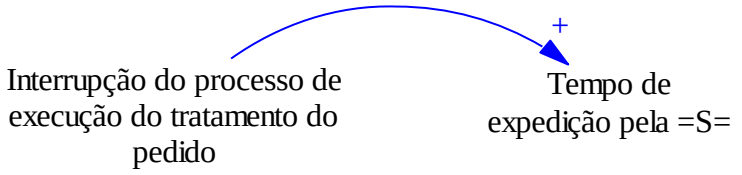
e. Quanto maior (menor) é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, maior (menor) é o custo do processo logístico.



Tarefa e: Indique no Relacionamento Causal “e” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Em qualquer processo bem estabelecido, as interações extra processo demandam maior tempo em sua execução, maior possibilidade de erro, etc. Tudo isto certamente é fator de acréscimo de valor no processo total.

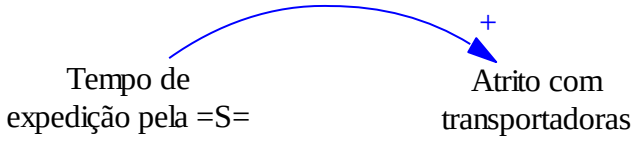
f. Quanto maior (menor) é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, maior (menor) é o tempo de expedição pela =S=.



Tarefa f: Indique no Relacionamento Causal "f" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Idem anterior.

g. Quanto maior (menor) é o tempo de expedição pela =S=, maior (menor) é o atrito com transportadoras.



Tarefa g: Indique no Relacionamento Causal "g" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

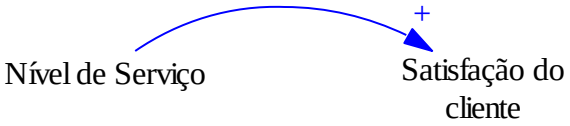
OK As transportadoras têm acordos operacionais contratados com a =S=. Em vista disto quaisquer transgressões a estes acordos são motivos de atritos.

h. Quanto maior (menor) é o tempo de expedição pela =S=, menor (maior) é o Nível de Serviço.

Tarefa h: Indique no Relacionamento Causal “h” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK

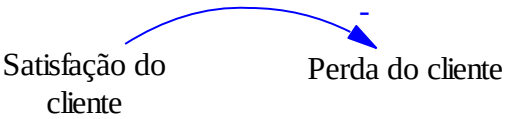
i. Quanto menor (maior) é o Nível de Serviço, menor (maior) é a satisfação do cliente.



Tarefa i: Indique no Relacionamento Causal “i” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

OK Exatamente! A cada vez que retardamos a saída de uma transportadora devido ao não cumprimento do processo no tempo devido, os penalizados são os clientes.

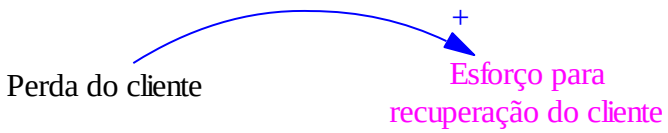
j. Quanto menor (maior) é a satisfação do cliente, maior (menor) é a perda do cliente.



Tarefa j: Indique no Relacionamento Causal “j” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM. Apesar dos produtos =S= terem uma excelente penetração no mercado, o cliente tem na concorrência, opções de substituição plenamente viáveis.

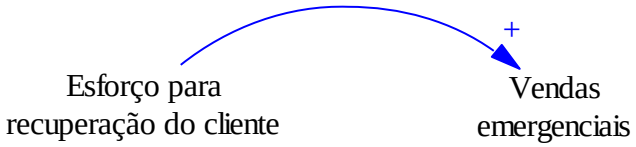
l. Quanto maior (menor) é a perda do cliente, maior (menor) é o esforço para recuperação do cliente.



Tarefa l: Indique no Relacionamento Causal "l" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM

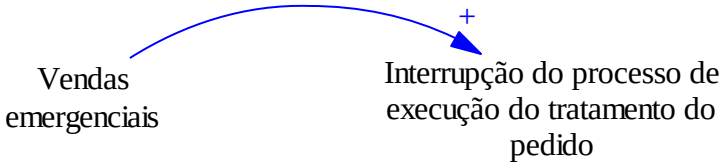
m. Quanto maior (menor) é o esforço para recuperação do cliente, maior (menor) é o número de vendas emergenciais.



Tarefa m: Indique no Relacionamento Causal "m" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Os atendimentos das exigências dos clientes (quaisquer que sejam), efetivamente podem recuperar uma venda perdida. Todavia, tudo tem um custo benefício.

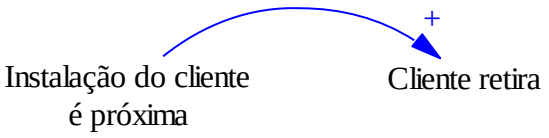
n. Quanto maior (menor) é o número de vendas urgentes, maior (menor) é a interrupção do processo de execução do tratamento do pedido.



Tarefa n: Indique no Relacionamento Causal "n" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM

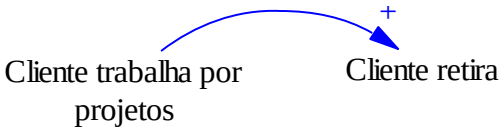
o. Quanto mais (menos) a instalação do cliente é próxima, mais (menos) o cliente retira.



Tarefa o: Indique no Relacionamento Causal "o" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Pode ser um dos fatores.

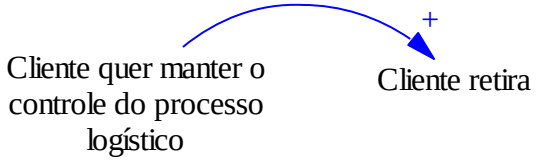
p. Quanto mais (menos) o cliente trabalha por projetos, mais (menos) o cliente retira.



Tarefa p: Indique no Relacionamento Causal "p" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

É uma das hipóteses observadas.

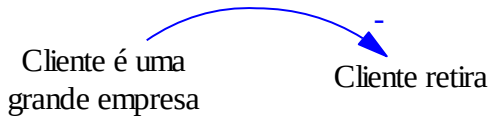
q. Quanto mais (menos) o cliente quer manter o controle do processo logístico, mais (menos) o cliente retira.



Tarefa q: Indique no Relacionamento Causal "q" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

SIM. A este fato pode-se acrescentar à descrença por parte do cliente no processo de entrega da =S=.

r. Quanto mais (menos) o cliente é uma grande empresa, menos (mais) o cliente retira.



Tarefa r: Indique no Relacionamento Causal "r" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Os clientes maiores conhecem o processo logístico e possuem equipes de planejamento que parametrizam suas necessidades de maneira a fazer que o produto seja comprado e entregue em tempo para o estabelecimento do seu processo comercial.

s. Quanto mais (menos) o cliente faz pagamento à vista, mais (menos) o cliente retira.

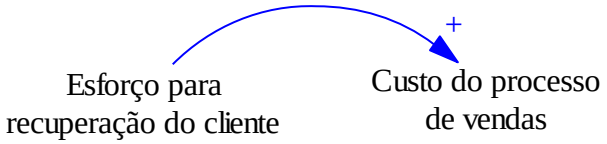
Tarefa s: Indique no Relacionamento Causal "s" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

Pode ser uma evidência.

t. Quanto menor (maior) é o nível de serviço, mais (menos) o cliente retira.

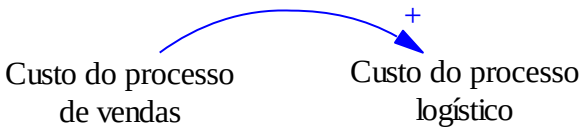
Tarefa t: Indique no Relacionamento Causal "t" quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

u. Quanto maior (menor) é o esforço para recuperação do cliente, maior (menor) é o custo do processo de vendas.



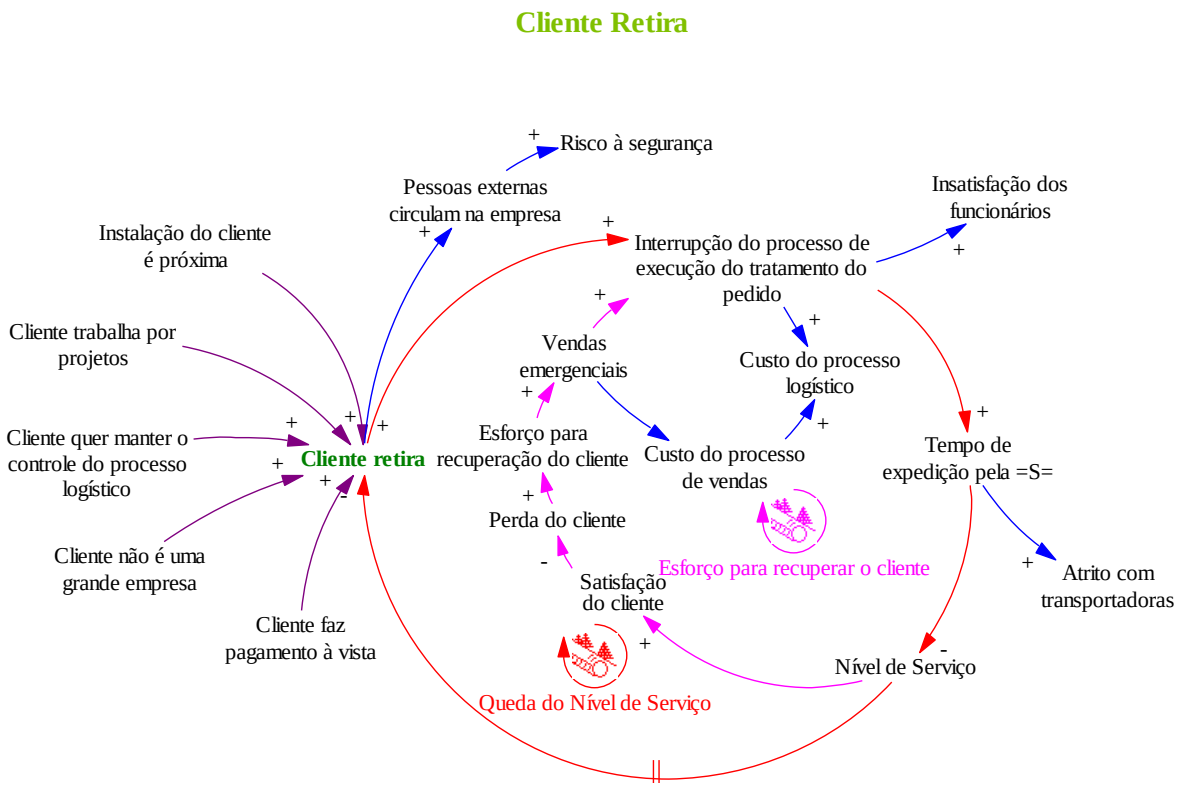
Tarefa u: Indique no Relacionamento Causal “u” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

v. Quanto maior (menor) o custo do processo de vendas, maior (menor) é o custo do processo logístico.



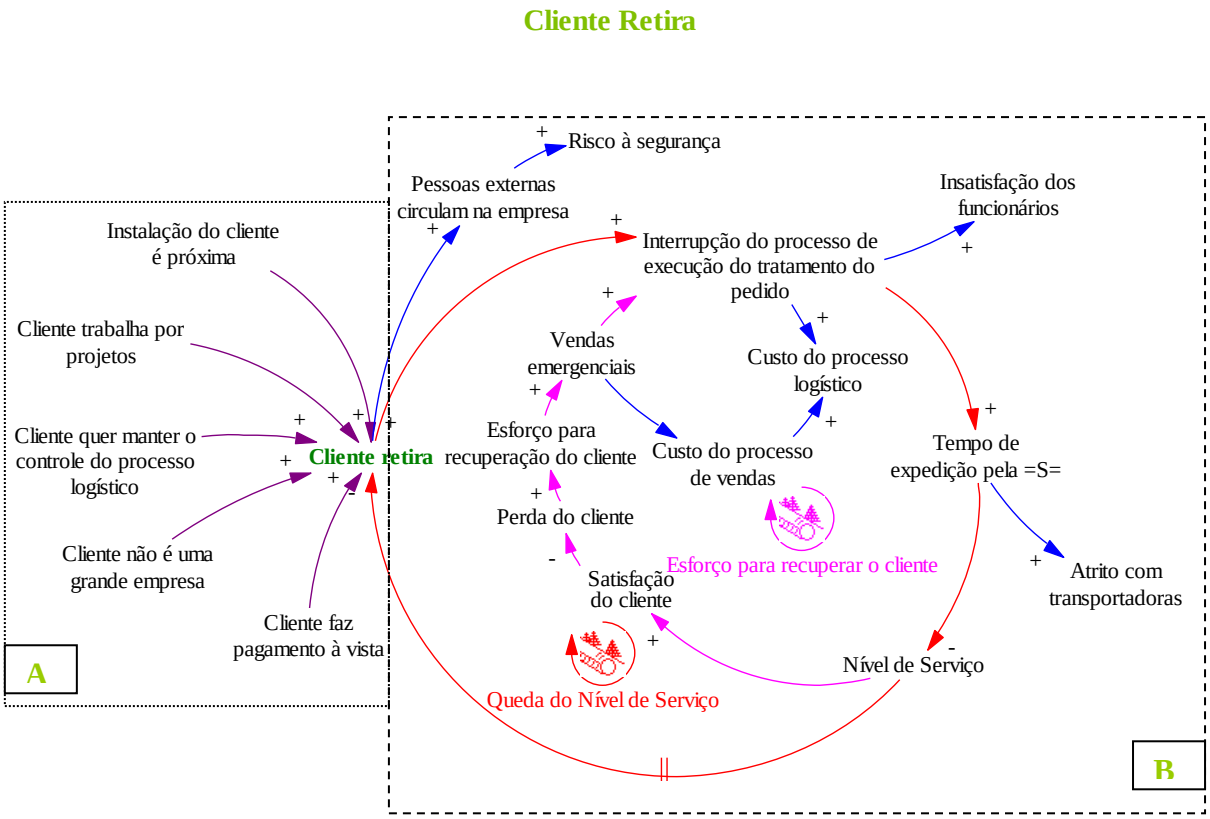
Tarefa v: Indique no Relacionamento Causal “s” quais as partes que você não concorda. No espaço a seguir escreva os seus comentários.

5. Diagrama de Enlace Causal



6. Comentários

Para facilitar o entendimento, a análise do diagrama deve ser feita por partes. Dentro da área limitada e chamada de “A” estão as causas que podem levar a uma retirada de produtos pelos clientes. Os efeitos gerados pela retirada dos clientes estão limitados pela área “B”.



Em um primeiro momento foram identificadas as causas óbvias (flechas em roxo) apresentadas em A. Todas elas têm sua origem nos clientes: a Instalação do cliente é próxima, o Cliente trabalha por projetos, o Cliente quer manter o controle do processo logístico, o Cliente não é uma empresa grande, o Cliente faz pagamento à vista. Pode-se dizer que essas causas são exógenas, ou seja, são geradas fora da =S=.

Em seguida, verificou-se que, o fato do cliente retirar, gera como efeito interno na =S=, a Interrupção do processo de execução do tratamento do pedido, que faz aumentar o tempo de expedição pela empresa; que diminui o Nível de serviço. Com um Nível de Serviço baixo, após um certo tempo, os clientes passam, eles próprios, a fazer as retiradas. Esse mapeamento está na área B.

Percebe-se, portanto, que mais uma causa, leva o cliente a retirar. E essa causa, considerada como não óbvia, é originada internamente à =S=: é uma causa endógena.

É assim gerado um feedback positivo (reforço). Esse feedback foi chamado de Queda do Nível de Serviço. No diagrama de Enlace Causal as flechas estão na cor vermelha.

Por outro lado, também se identifica que, com um Nível de Serviço mais baixo, a Satisfação do cliente diminui, o que pode levar à Perda do cliente. Para não perder o cliente a empresa aumenta o esforço para recuperar o cliente, necessitando, às vezes, realizar vendas emergenciais. Essas vendas também levam à Interrupção do processo de execução do tratamento do pedido. Fecha-se aí uma outra malha de feedback positivo (reforço) chamada de Esforço para recuperar o cliente. No diagrama, parte das flechas está em rosa e parte em vermelho.

É importante lembrar que as malhas de feedback positivo tendem a amplificar o que quer que esteja acontecendo no sistema.

Uma observação a ser feita é que no diagrama de enlace causal aparecem dois fatores de preocupação na =S=: as Vendas Emergenciais (Projeto Urgentes) e o Nível de Serviço (Projeto Flag).

7. Sugestões

a) Para dar continuidade à fase Medir do DMAIC no projeto Cliente Retira, faz-se as seguintes sugestões:

a. Coletar dados sobre os clientes que mais retiram, identificando se os motivos citados são os principais;
b. Coletar dados sobre Número de Retiradas pelos Clientes;
c. Coletar dados sobre Nível de Serviço;
d. Coletar dados sobre Vendas emergenciais;
e. Coletar dados sobre horas de Interrupção do processo de execução do tratamento de pedidos.

Todos esses dados num mesmo período de tempo.

- Fazer a Matriz de Causa e Efeito colocando no CTQ (Y) o objetivo que é diminuir a Retirada pelos Clientes e nos X's as causas óbvias e a causa não óbvia:

	Peso	-	
	Item	1	
	CTQ (Y)	Diminuir a Retirada pelos Clientes	
Item	X's		Total
1	Instalação do cliente é próxima	-	-

2	Cliente trabalha por projetos	-	-
3	Cliente quer manter o controle do processo logístico	-	-
4	Cliente não é uma empresa grande	-	-
5	Cliente faz pagamento à vista	-	-
6	Nível de Serviço	-	-

- Com o resultado da coluna Total, fazer o Pareto.

b) Para a fase Analisar do DMAIC, faz-se as seguintes sugestões:

- Fazer o Diagrama de Dispersão entre o Nível de Serviço e o Número de Retiradas pelos Clientes;
- Fazer o Diagrama de Dispersão entre o Nível de Serviço e as Vendas Emergenciais;
- Fazer o Diagrama de Dispersão entre o Número de Retiradas pelos Clientes e as horas de Interrupção do processo de execução do tratamento de pedidos;
- Fazer o Diagrama de Dispersão entre as Vendas emergenciais e as horas de Interrupção do processo de execução do tratamento de pedidos.

Os diagramas de dispersão demonstrarão o nível de correlação entre essas variáveis.

APÊNDICE D – PROJETO LAVAGEM DE REATORES / *WORKBOOK* 1

Data: 02/04/2006

1. Objetivo do Projeto

Redução do tempo empregado na lavagem de reatores.

2. Problema: tempo gasto para lavagens dos reatores

Por que isso é um problema:

De 2004 ao início de 2006, com a introdução de práticas do *Lean Manufacturing*, a empresa conseguiu duplicar sua capacidade de produção, mas, ainda assim, apresentava um desempenho abaixo do esperado no Indicador de Eficiência da Planta. O índice de Eficiência é calculado da forma:

E (%) = Qualidade (%) * Disponibilidade (%) * Performance (%)

Observou-se que os fatores Qualidade (%) e Performance(%) sempre se encontravam próximos a 100%, ao passo que o fator Disponibilidade (%) sempre girava ao redor de 70% a 80%. A causa raiz identificada dessa ineficiência foi o tempo parado para lavagens dos reatores.

3. Modo de Referência do comportamento

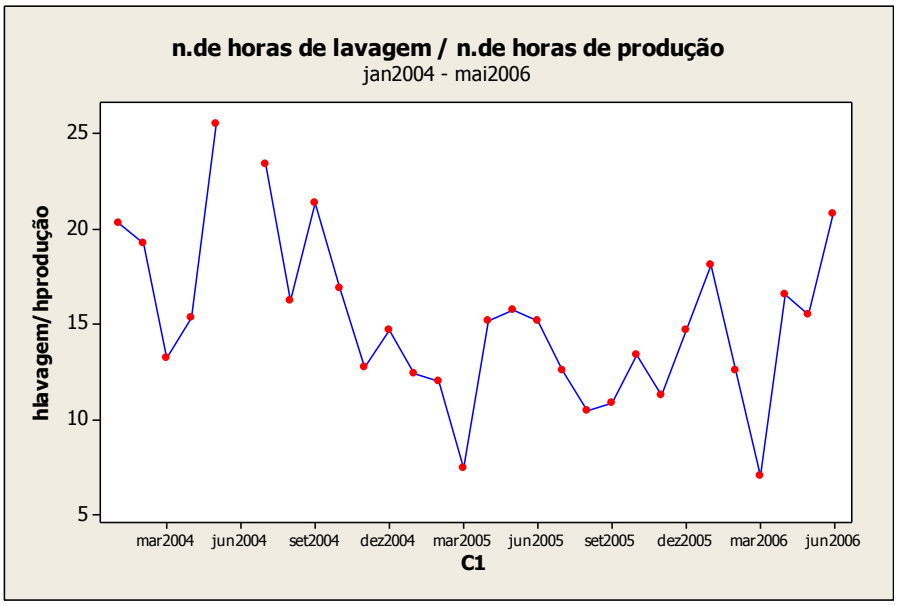


Gráfico 1. No.de horas de lavagem / no.de horas de produção - jan2004 a mai2006
Fonte: Empresa B

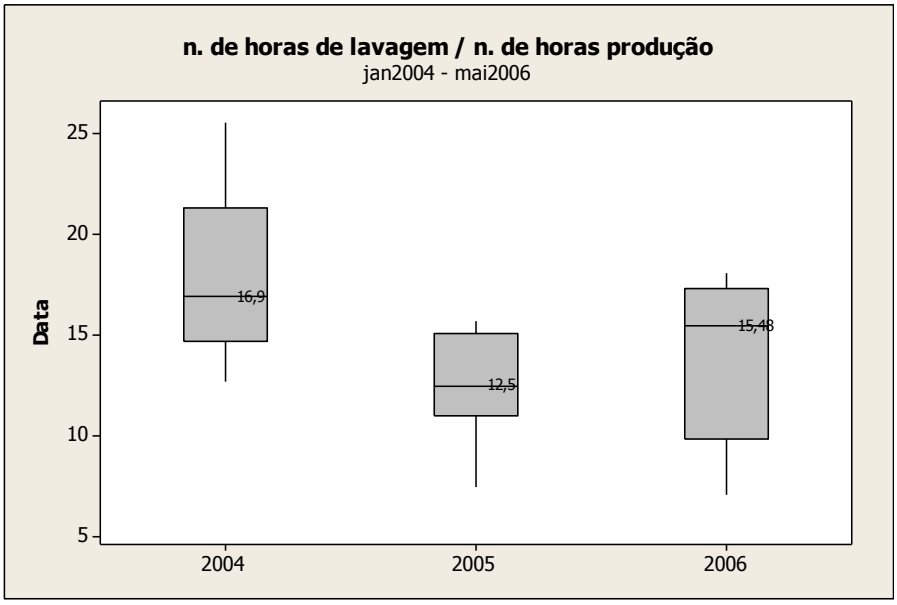


Gráfico 2. Box Plot de no.de horas de lavagem / no.de horas de produção - jan2004 a mai2006
Fonte: Empresa B

Pelos Gráficos 1 e 2 percebe-se que o número de horas de lavagens de reatores em relação ao número de horas de produção passou a apresentar um comportamento crescente em 2006.

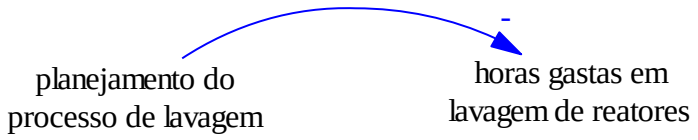
4. Identificação de Relacionamentos Causais

a. Quanto mais o procedimento é atualizado, menos horas são gastas na lavagem de reatores**.**

Tarefa a: Indique no Relacionamento Causal “a” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

O foco do procedimento é a execução de uma lavagem perfeita. A minimização das horas de lavagem é interpretada como um objetivo adicional a ser contemplado, mas não como objetivo principal.

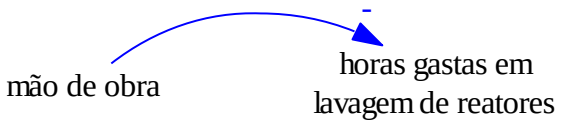
b. Quanto maior é o planejamento do processo de lavagem, menos horas são gastas na lavagem de reatores.



Tarefa b: Indique no Relacionamento Causal “b” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Não “quanto maior” e sim “quanto melhor” o processo de planejamento maior a diminuição dos tempos de lavagem.

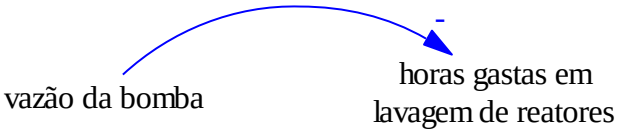
c. Quanto mais mão de obra, menos horas são gastas na lavagem de reatores.



Tarefa c: Indique no Relacionamento Causal “c” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Aplicável apenas nas operações dependentes de mão de obra. A maior parte do tempo empregado na operação de lavagem de reatores são horas máquina. Devido a isso, as otimizações das operações dependentes de mão de obra implicarão em pequena redução do tempo total de processo.

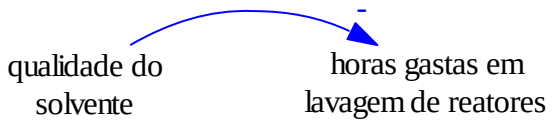
d. Quanto maior é a vazão da bomba, menos horas são gastas na lavagem de reatores.



Tarefa d: Indique no Relacionamento Causal “d” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Concordância plena.

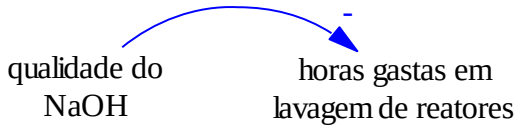
e. Quanto maior é a qualidade do solvente, menos horas são gastas na lavagem de reatores.



Tarefa e: Indique no Relacionamento Causal "e" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Concordância plena.

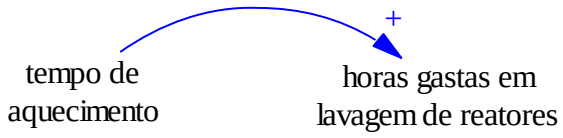
f. Quanto maior é a qualidade do NaOH, menos horas são gastas na lavagem de reatores.



Tarefa f: Indique no Relacionamento Causal "f" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Concordância plena.

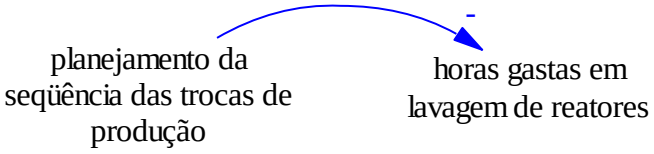
g. Quanto maior é o tempo de aquecimento, mais horas são gastas na lavagem de reatores.



Tarefa g: Indique no Relacionamento Causal "g" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Concordância plena.

h. Quanto melhor é o planejamento da seqüência das trocas de produção, menos horas são gastas na lavagem de reatores.

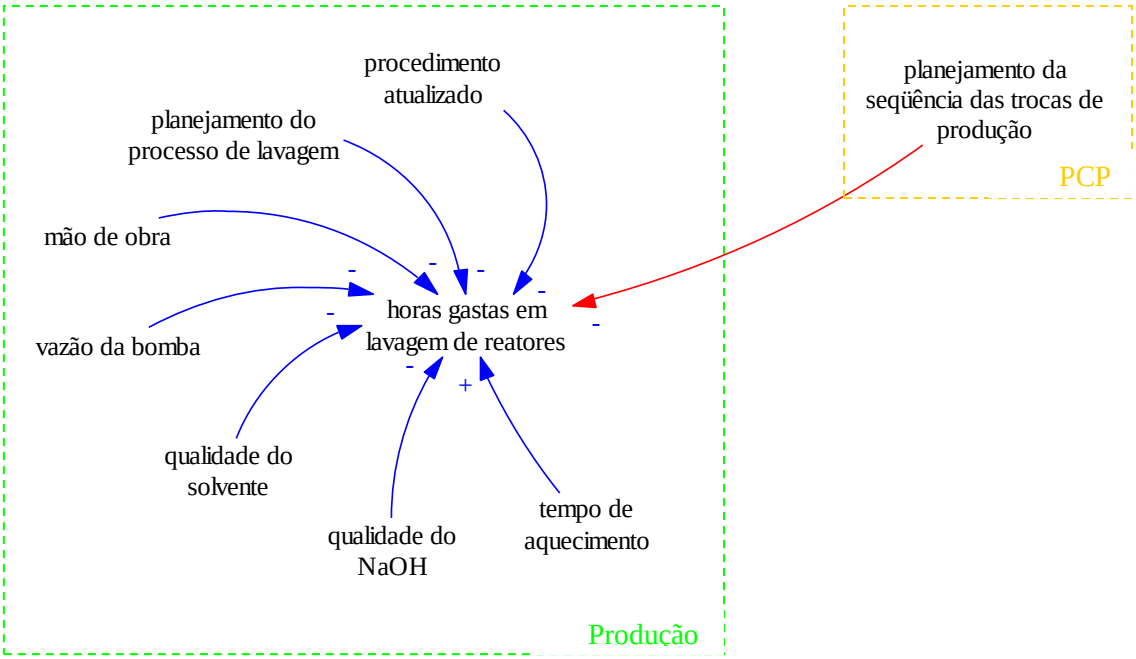


Tarefa h: Indique no Relacionamento Causal "h" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Concordância plena. Além de impactar nas horas de lavagem, podem ser escolhidas seqüências de fabricação que mesmo em caso de falha de lavagem (sobra de elementos do produto lavado) conduzam a problemas de qualidade não críticos na carga subseqüente (Ex: resina alquídica → poliéster insaturado é mais sensível a um problema de lavagem do que poliéster insaturado → resina alquídica.).

5. Diagrama de Enlace Causal

Redução no tempo empregado na lavagem de reatores



Tarefa CLD: Indique no Diagrama de Enlace Causal quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Concordância plena.

A variável PCP é exógena ao problema tal como o focamos inicialmente, mas pode ter grande influência nos resultados de tempos de lavagem de reatores.

APÊNDICE E – PROJETO PURIFICAÇÃO DE ÁGUA / *WORKBOOK* 1

Data: 21/10/2007

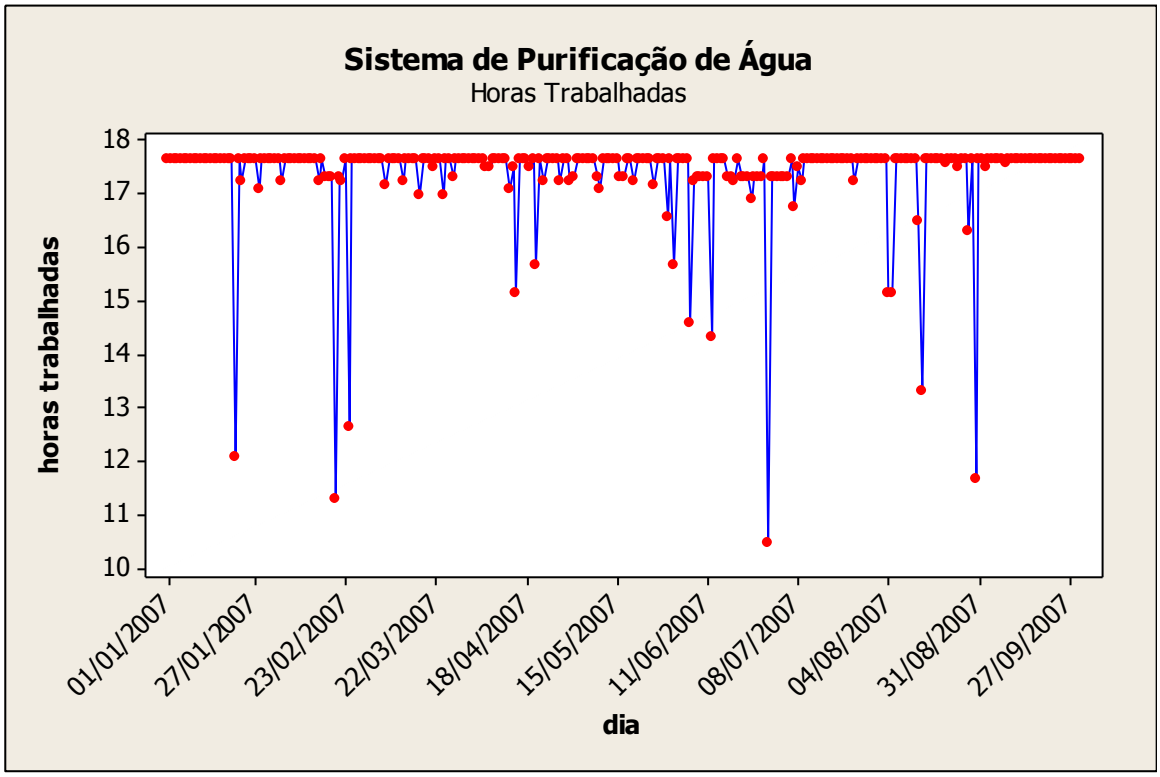
1. **Objetivo do Projeto**

Aumentar a disponibilidade do sistema de purificação de água. Os CTQs são "volume adequado de água pura" e "qualidade da água".

2. **Problema:** Ocorrem muitas paradas para ações preventivas e corretivas do sistema.

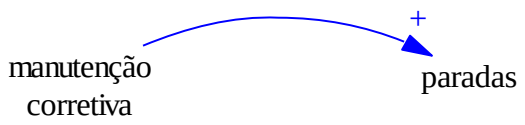
Por que isso é um problema: Porque diminui a disponibilidade do sistema. A cada hora que o sistema não funciona, aproximadamente 800 exames deixam de ser realizados.

3. **Modo de Referência do Comportamento**



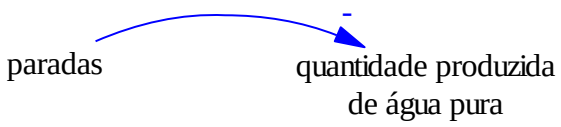
4. Identificação de Relacionamentos Causais

a . Quanto mais manutenção corretiva, mais acontecem as paradas de produção



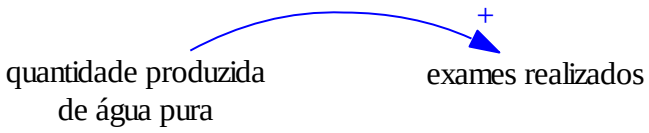
Tarefa a: Indique no Relacionamento Causal “a” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

b. Quanto mais paradas, menor é a quantidade produzida de água pura



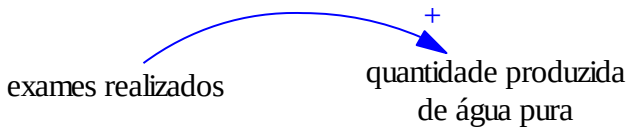
Tarefa b: Indique no Relacionamento Causal “b” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

c. Quanto menor é a quantidade produzida de água pura, menos exames são realizados



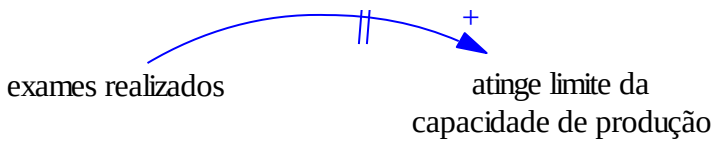
Tarefa c: Indique no Relacionamento Causal “c” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

d. Quanto mais exames são realizados, mais se necessita de quantidade produzida de água pura



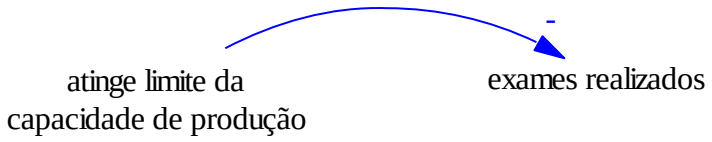
Tarefa d: Indique no Relacionamento Causal “d” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

e1. Quanto mais exames são realizados, depois de um certo tempo, mais se atinge o limite da capacidade de produção



Tarefa e1: Indique no Relacionamento Causal “e1” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

e2. Quanto mais se atinge o limite da capacidade de produção, menos exames são realizados

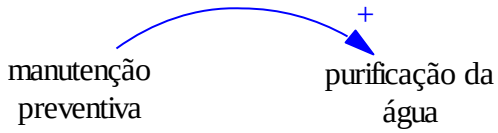


Tarefa e2: Indique no Relacionamento Causal “e2” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

f. Quanto mais manutenção preventiva, mais se tem paradas de produção

Tarefa f: Indique no Relacionamento Causal “f” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

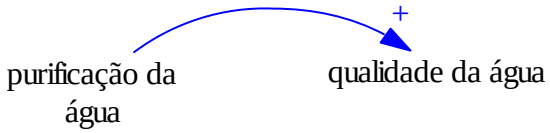
g. Quanto mais manutenção preventiva, maior é a purificação da água



Tarefa g: Indique no Relacionamento Causal “g” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Mais pura é a água

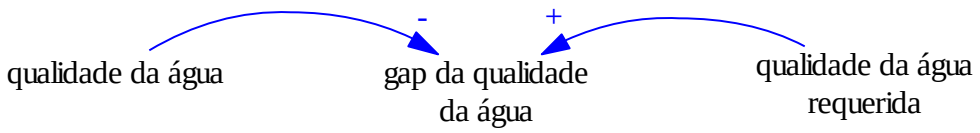
h. Quanto maior é a purificação da água, maior é a qualidade da água



Tarefa h: Indique no Relacionamento Causal “h” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

Quanto mais pura é a água, melhor é a qualidade da água produzida

i. Quanto maior é a qualidade da água, menor é o gap em relação à qualidade da água requerida



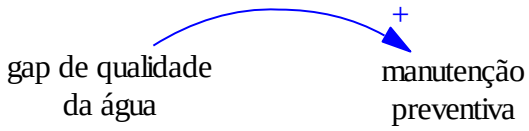
Tarefa i: Indique no Relacionamento Causal "i" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

j. Quanto menor é o *gap* da qualidade da água, mais exames são realizados

Tarefa j: Indique no Relacionamento Causal "j" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

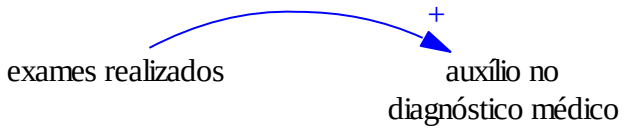
Colocar *delay*

k. Quanto menor é o *gap* da qualidade da água, menos manutenção preventiva



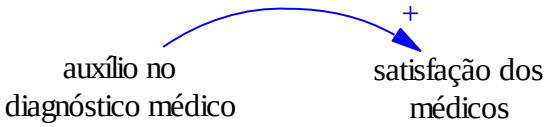
Tarefa k: Indique no Relacionamento Causal "k" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

l. Quanto mais exames realizados, maior é o auxílio no diagnóstico médico



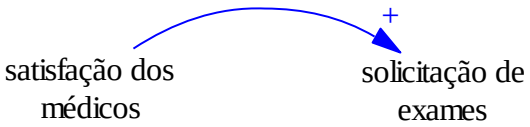
Tarefa l: Indique no Relacionamento Causal "l" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

m. Quanto maior é o auxílio no diagnóstico médico, maior é a satisfação dos médicos



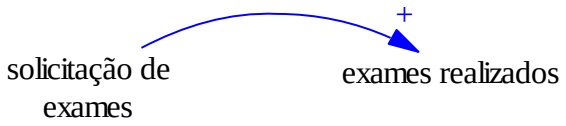
Tarefa m: Indique no Relacionamento Causal "m" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

n. Quanto maior é a satisfação dos médicos, maior é a solicitação de exames



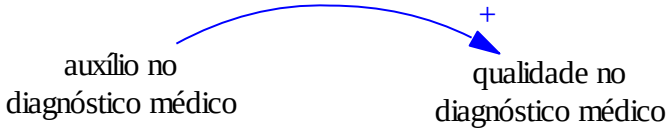
Tarefa n: Indique no Relacionamento Causal "n" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

o. Quanto maior é a solicitação de exames, mais exames são realizados



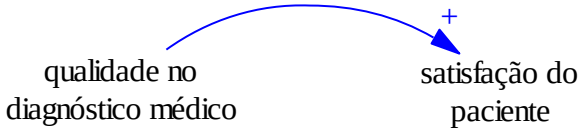
Tarefa o: Indique no Relacionamento Causal “o” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

p . Quanto maior é o auxílio no diagnóstico médico, maior é a qualidade no diagnóstico médico



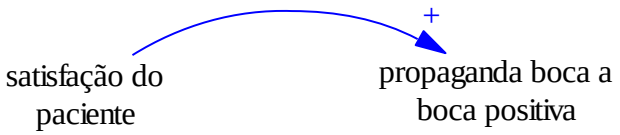
Tarefa p: Indique no Relacionamento Causal “p” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

q. Quanto maior é a qualidade no diagnóstico médico, maior é a satisfação do paciente



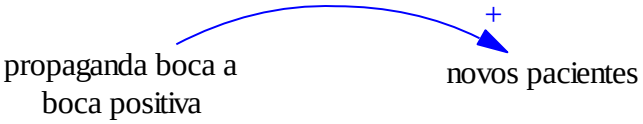
Tarefa q: Indique no Relacionamento Causal “q” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

r. Quanto maior é a satisfação do paciente, maior é a propaganda boca a boca positiva



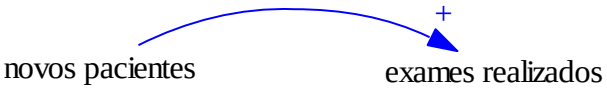
Tarefa r: Indique no Relacionamento Causal "r" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

s. Quanto maior é a propaganda boca a boca positiva, mais aparecem novos pacientes



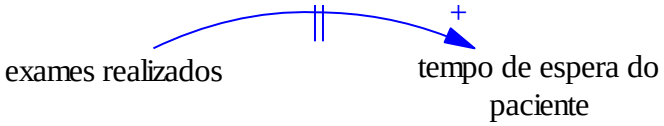
Tarefa s: Indique no Relacionamento Causal "s" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

t. Quanto mais aparecem novos pacientes, mais exames são realizados



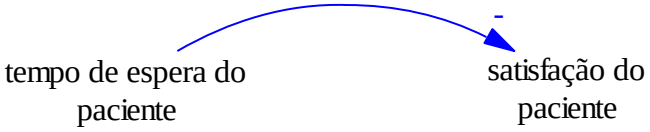
Tarefa t: Indique no Relacionamento Causal "t" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

u. Quanto mais exames são realizados, depois de um certo tempo maior é o tempo de espera do paciente



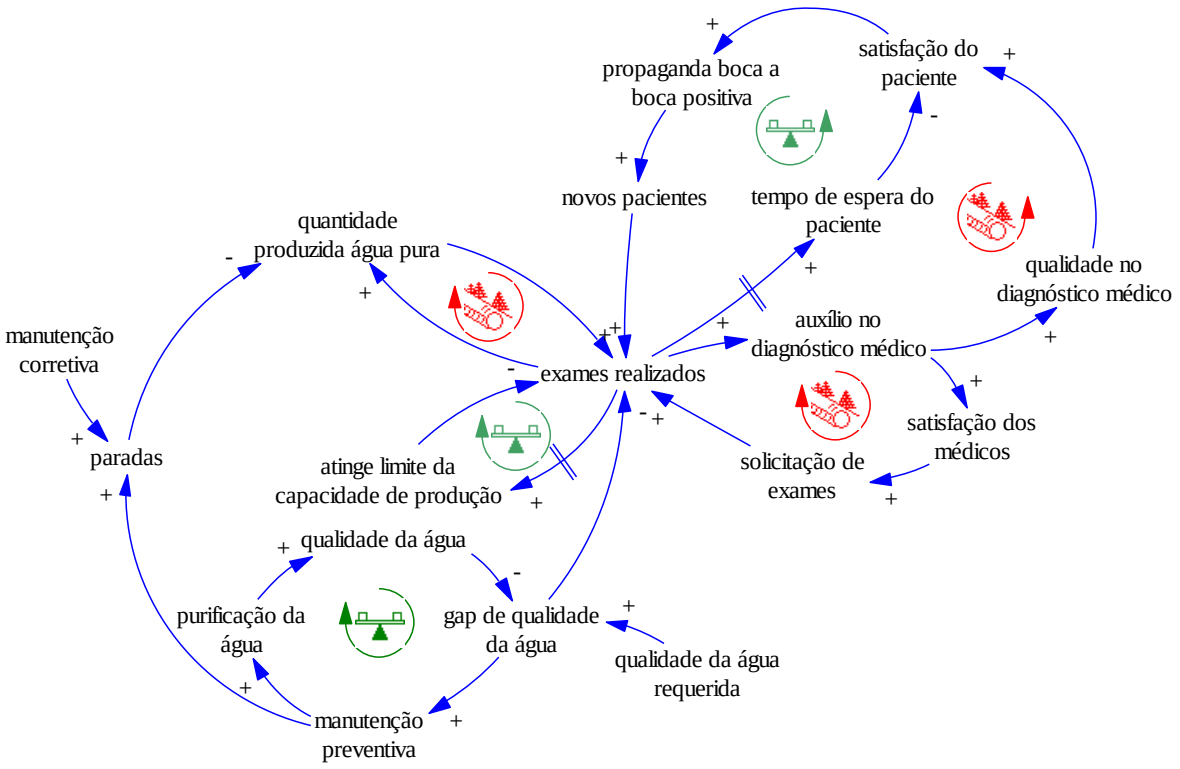
Tarefa u: Indique no Relacionamento Causal “u” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

v. Quanto maior é o tempo de espera do paciente, menor é a satisfação do paciente



Tarefa v: Indique no Relacionamento Causal “v” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

5. Diagrama de Enlace Causal



Tarefa CLD: Indique no Diagrama de Enlace Causal quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

APÊNDICE F – PROJETO PURIFICAÇÃO DE ÁGUA / *WORKBOOK* 2

Data: 05/11/2007

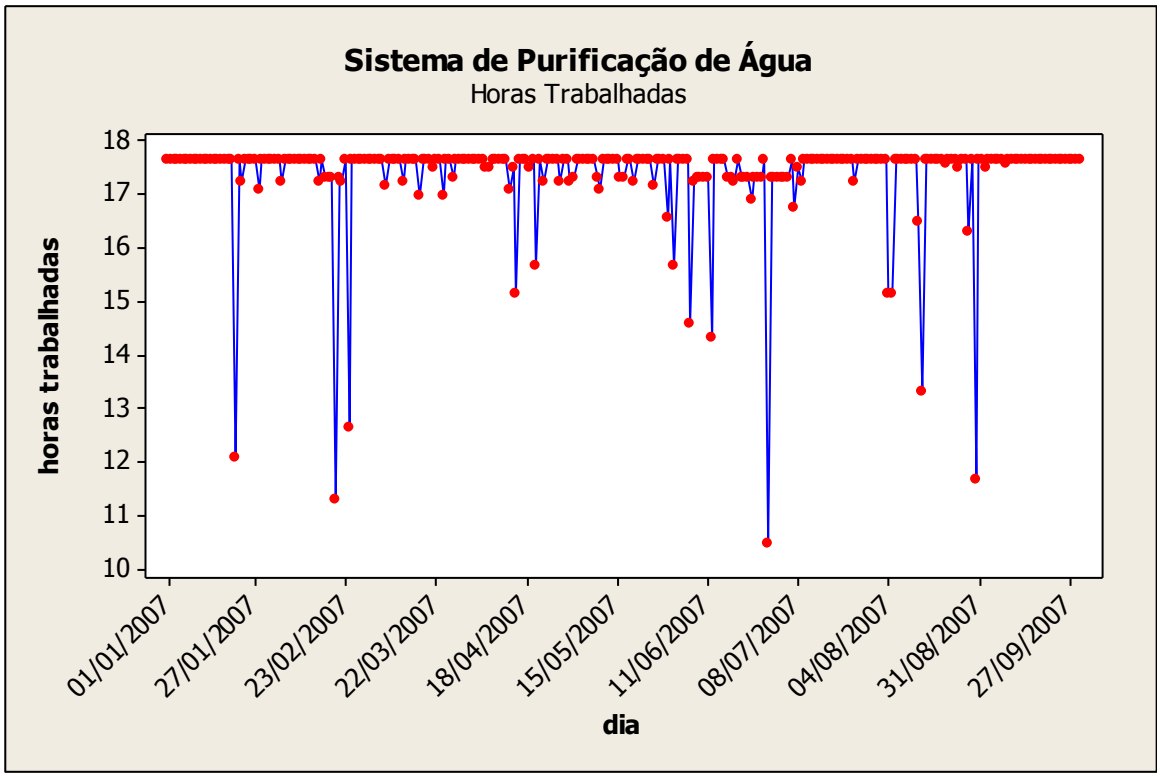
1. **Objetivo do Projeto**

Aumentar a disponibilidade do sistema de purificação de água. Os CTQs são "volume adequado de água pura" e "qualidade da água".

2. **Problema:** Ocorrem muitas paradas para ações preventivas e corretivas do sistema.

Por que isso é um problema: Porque diminui a disponibilidade do sistema. A cada hora que o sistema não funciona, aproximadamente 800 exames deixam de ser realizados.

3. **Modo de Referência do Comportamento**

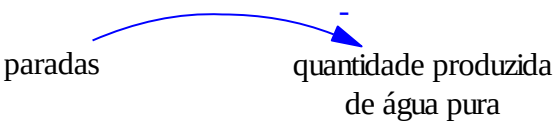


4. Identificação de Relacionamentos Causais

a . Quanto mais manutenção corretiva, mais acontecem as paradas de produção

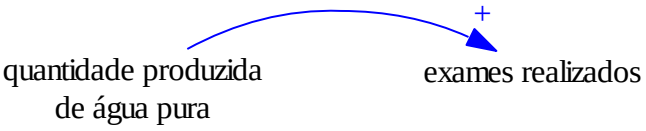
Tarefa a: Indique no Relacionamento Causal “a” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

b. Quanto mais paradas, menor é a quantidade produzida de água pura



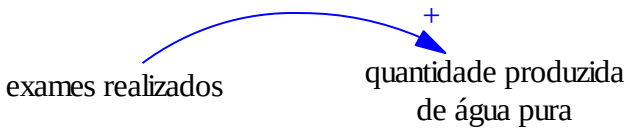
Tarefa b: Indique no Relacionamento Causal “b” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

c. Quanto menor é a quantidade produzida de água pura, menos exames são realizados



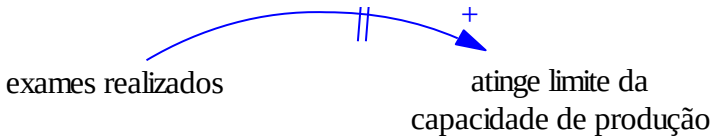
Tarefa c: Indique no Relacionamento Causal “c” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

d. Quanto mais exames são realizados, mais se necessita de quantidade produzida de água pura



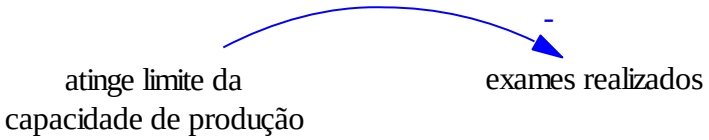
Tarefa d: Indique no Relacionamento Causal “d” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

e1. Quanto mais exames são realizados, depois de um certo tempo, mais se atinge o limite da capacidade de produção



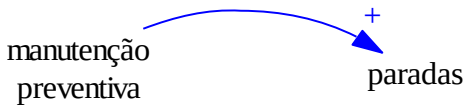
Tarefa e1: Indique no Relacionamento Causal “e1” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

e2. Quanto mais se atinge o limite da capacidade de produção, menos exames são realizados



Tarefa e2: Indique no Relacionamento Causal “e2” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

f. Quanto mais manutenção preventiva, mais se tem paradas de produção

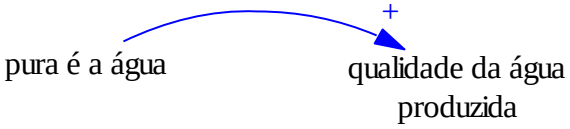


Tarefa f: Indique no Relacionamento Causal "f" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

g. Quanto mais manutenção preventiva, mais pura é a água

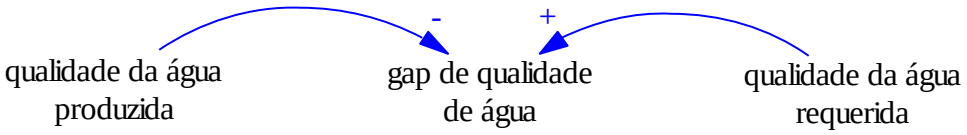
Tarefa g: Indique no Relacionamento Causal "g" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

h. Quanto mais pura é a água, melhor é a qualidade da água produzida



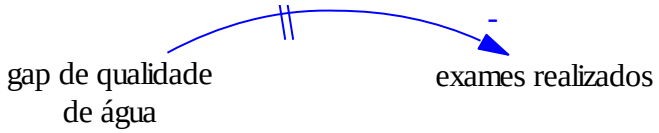
Tarefa h: Indique no Relacionamento Causal “h” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

i. Quanto melhor é a qualidade da água produzida, menor é o gap em relação à qualidade da água requerida



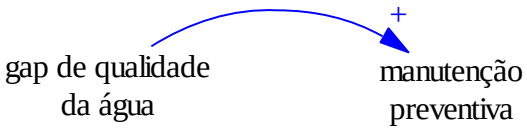
Tarefa i: Indique no Relacionamento Causal “i” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

j. Quanto menor é o gap da qualidade da água, depois de um certo tempo mais exames são realizados



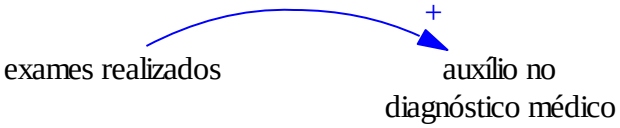
Tarefa j: Indique no Relacionamento Causal “j” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

k. Quanto menor é o gap da qualidade da água, menos manutenção preventiva



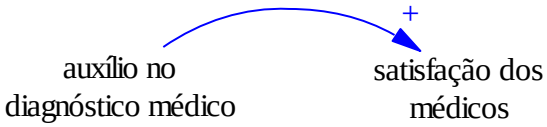
Tarefa k: Indique no Relacionamento Causal “k” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

l. Quanto mais exames realizados, maior é o auxílio no diagnóstico médico



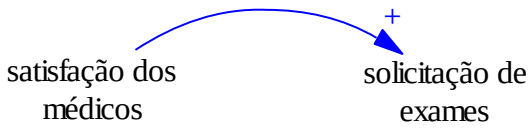
Tarefa l: Indique no Relacionamento Causal “l” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

m. Quanto maior é o auxílio no diagnóstico médico, maior é a satisfação dos médicos



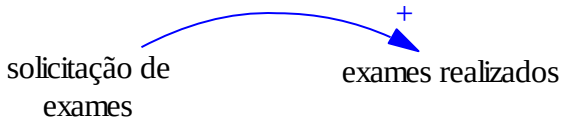
Tarefa m: Indique no Relacionamento Causal “m” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

n. Quanto maior é a satisfação dos médicos, maior é a solicitação de exames



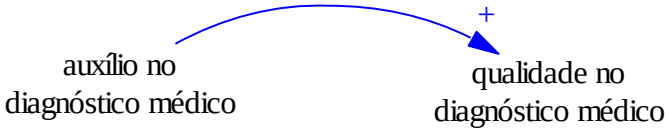
Tarefa n: Indique no Relacionamento Causal “n” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

o. Quanto maior é a solicitação de exames, mais exames são realizados



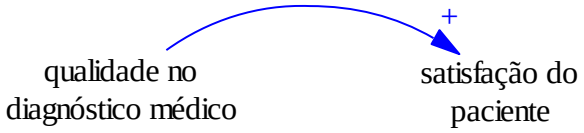
Tarefa o: Indique no Relacionamento Causal “o” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

p . Quanto maior é o auxílio no diagnóstico médico, maior é a qualidade no diagnóstico médico



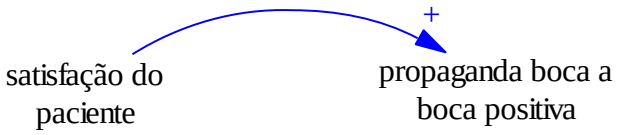
Tarefa p: Indique no Relacionamento Causal “p” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

q. Quanto maior é a qualidade no diagnóstico médico, maior é a satisfação do paciente



Tarefa q: Indique no Relacionamento Causal "q" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

r. Quanto maior é a satisfação do paciente, maior é a propaganda boca a boca positiva

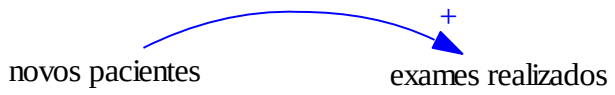


Tarefa r: Indique no Relacionamento Causal "r" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

s. Quanto maior é a propaganda boca a boca positiva, mais aparecem novos pacientes

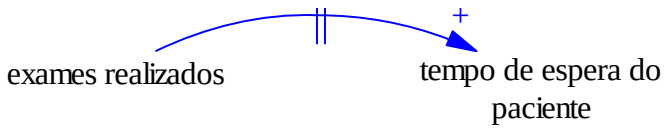
Tarefa s: Indique no Relacionamento Causal "s" quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

t. Quanto mais aparecem novos pacientes, mais exames são realizados



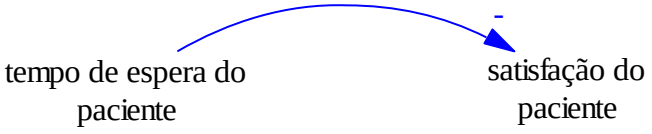
Tarefa t: Indique no Relacionamento Causal “t” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

u. Quanto mais exames são realizados, depois de um certo tempo, maior é o tempo de espera do paciente



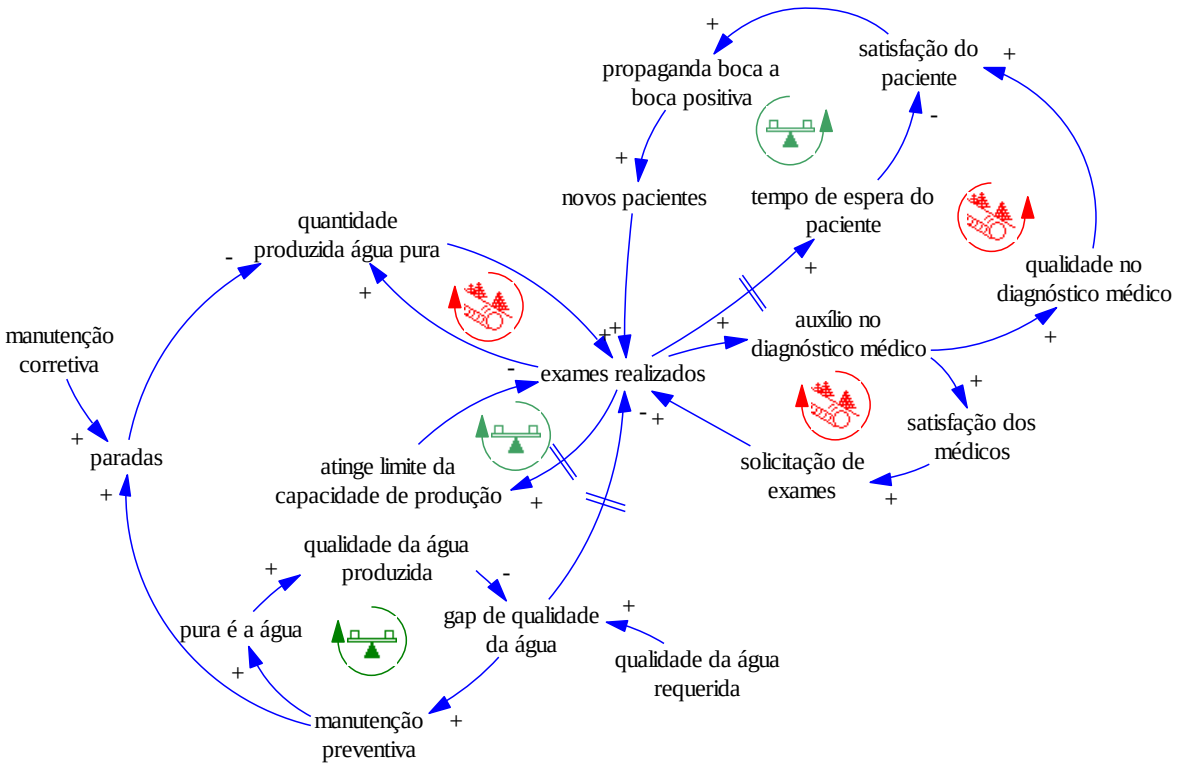
Tarefa u: Indique no Relacionamento Causal “u” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

v. Quanto maior é o tempo de espera do paciente, menor é a satisfação do paciente



Tarefa v: Indique no Relacionamento Causal “v” quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.

5. Diagrama de Enlace Causal



Tarefa CLD: Indique no Diagrama de Enlace Causal quais as partes que você não concorda. No espaço abaixo escreva os seus comentários.