

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO

IBERÊ GUARANI DE SOUZA

OS PROGRAMAS DE MELHORIA REALMENTE IMPORTAM? UMA
AVALIAÇÃO EM UMA EMPRESA DE MANUFATURA

São Leopoldo
2014

IBERÊ GUARANI DE SOUZA

OS PROGRAMAS DE MELHORIA REALMENTE IMPORTAM? UMA AVALIAÇÃO EM
UMA EMPRESA DE MANUFATURA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

Co-orientador: Prof. Dr. Luís Felipe Riehs Camargo

São Leopoldo

2014

S729p Souza, Iberê Guarani de
Os programas de melhoria realmente importam? Uma avaliação em
uma empresa de manufatura / Iberê Guarani de Souza. – 2014.
198 f. : 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) --
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação
Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda; Coorientador: Prof.
Dr. Luís Felipe Riehs Camargo.

1. Engenharia de produção. 2. Análise envoltória de dados. 3.
Benchmark. 4. Melhoria contínua. 5. Manufatura - Eficiência. 6.
Processo de aprendizado. I. Título. II. Lacerda, Daniel Pacheco. II.
Camargo, Luís Felipe Riehs.

CDU 658.5

IBERÊ GUARANI DE SOUZA

**OS PROGRAMAS DE MELHORIA REALMENTE IMPORTAM? UMA
AVALIAÇÃO EM UMA EMPRESA DE MANUFATURA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Aprovado em ____/____/2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – Orientador
PPGEPS Unisinos

Prof. Dr. Luís Felipe Riehs Camargo – Co-orientador
Unisinos

Profa. Dra. Mariana Rodrigues de Almeida
Departamento de Engenharia de Produção - UFRN

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel
PPGEP UFRGS

Prof. Dr. Luís Henrique Rodrigues
PPGEPS Unisinos

*Dedico esta dissertação à minha esposa Adriana
e aos meus filhos Cauê e Caio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda, pela oportunidade, ajuda e apoio. Também pela confiança desde a entrevista do processo seletivo;

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Luís Felipe Riehs Camargo, pelas ideias e contribuições ao longo da construção deste trabalho, e também pelas orientações durante o estágio de docência;

À equipe de professores do PPGEPS Unisinos, que contribuiu nesta fase da minha vida;

A todos os profissionais e colegas da empresa na qual o estudo foi desenvolvido, que contribuíram com valiosas informações para a construção do trabalho;

À banca examinadora do projeto de qualificação, professores doutores Luís Henrique Rodrigues, Annibal Scavarda do Carmo, Daniel Pacheco Lacerda e Luís Felipe Riehs Camargo;

Aos colegas mestrandos do PPGEPS Unisinos, pela amizade e contribuição nos trabalhos e atividades do curso;

À equipe da biblioteca, pelo apoio e ajuda nas pesquisas;

Aos professores do GMAP, pela contribuição e apoio;

Aos meus familiares, por toda a ajuda e por compreenderem minhas longas ausências durante esta caminhada.

RESUMO

As empresas buscam, a cada dia, melhorar sua eficiência produtiva e, com isso, aumentar sua lucratividade e competitividade. Para tanto, há diversas formas de descobrir os fatores críticos de competitividade que podem estar presentes nos mais diversos setores de manufatura. Logo, o uso de técnicas robustas para avaliar e medir esses fatores torna-se essencial para o suporte à tomada de decisão. Este estudo tem o objetivo de analisar a influência dos processos de melhoria contínua e de aprendizado em termos de eficiência e volume de produção em uma empresa de manufatura. Para atingir o objetivo proposto, a pesquisa realiza um estudo de caso utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA), combinada com o teste de Regressão Linear e o teste de ANOVA. Nesta etapa, formula-se um modelo conceitual com quatro hipóteses principais e oito hipóteses secundárias. Para avaliação da eficiência DEA, o modelo utiliza retornos variáveis de escala (VSR) com orientação a insumo, considerando as principais matérias-primas utilizadas pela empresa com base no custo variável total. O teste de Regressão Linear efetua a avaliação do impacto do processo de melhoria e de aprendizado na eficiência (DEA). Por sua vez, o teste de ANOVA avalia as médias da eficiência de cada linha de produção para cada ano analisado. O estudo realiza-se de forma longitudinal, com avaliação de seis anos de produção de manufatura. Os resultados da pesquisa mostram que apenas uma das linhas de produção aumentou a eficiência ao longo do tempo. Além disso, indicam que duas linhas de produção tiveram impacto das ações de melhoria no volume de produção. Logo, as variáveis referentes aos programas de *Kaizen*, às horas de treinamento e à experiência dos funcionários influenciaram significativamente o modelo. Verifica-se que os projetos voltados à melhoria contínua e ao aprendizado não foram suficientes para aumentar a eficiência em duas importantes linhas de produção. Além disso, o estudo elucida que o volume de produção impacta negativamente a eficiência de uma das linhas de produção. Com a análise, é possível identificar quais fatores são representativos para aumentar a eficiência produtiva. Logo, conclui-se que a atualização tecnológica constitui um fator importante a ser seguido pela empresa estudada.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados. Melhoria Contínua. Eficiência na Manufatura. *Benchmark* Interno. Processo de Aprendizado.

ABSTRACT

Everyday, companies seek to improve their productive efficiency and, thus, increase their profitability and competitiveness. For both, there are several ways to discover the critical factors of competitiveness that may be present in various manufacturing sectors. Thus, the use of robust techniques to assess and measure these factors is essential to support decision making. This study aims to analyze the influence of the processes of continuous improvement and learning in terms of efficiency and production volume in a manufacturing company. To achieve the proposed objective, the research conducts a case study using Data Envelopment Analysis (DEA), combined with the Linear Regression test and the ANOVA test. At this stage, a conceptual model with four main hypotheses and eight secondary ones is formulated. To evaluate the DEA efficiency, the model uses Variable Scale Returns (VSR) with input orientation considering the main raw materials used by the company based on the total variable cost. The Linear Regression test performs the evaluation of the impact of the improvement process and learning efficiency (DEA). In turn, the ANOVA test evaluates the average efficiency of each production line for each year analyzed. The study is carried out longitudinally, by reviewing six years of manufacturing. The survey results show that only one of the production lines increased efficiency over time. In addition, the results indicate that two production lines have been impacted by the actions of improvement in the volume of production. Therefore, the variables related to *Kaizen* programs, to the hours of training and to employees' experience significantly influenced the model. It can be concluded that the projects focused on continuous improvement and learning were not sufficient to increase efficiency in two major production lines. Furthermore, the study shows that the production volume negatively impacts the efficiency of the production lines. With the analysis, it is possible to identify which factors are representative to increase production efficiency. Therefore, it can be concluded that the technology upgrade is an important factor to be followed by the company studied.

Key-words: Data Envelopment Analysis (DEA). Continuous Improvement. Efficiency in Manufacturing. Internal *Benchmark*. Learning Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho de pesquisa	20
Figura 2 - Áreas de aplicação de DEA	28
Figura 3 - Fronteira de produção e eficiência técnica	32
Figura 4 - Produtividade, eficiência técnica e economia de escala	33
Figura 5 - Mudança técnica entre dois períodos distintos	34
Figura 6 - Fluxograma para escolha do <i>benchmarking</i> interno ou externo	39
Figura 7 - Tecnologias de produção obtidas por diferentes métodos	41
Figura 8 - Relação entre <i>input</i> , DMU e <i>output</i> – DEA	43
Figura 9 - Fronteira CRS com orientação para <i>input</i>	47
Figura 10- Fronteira CRS com orientação para <i>output</i>	49
Figura 11 - Relações das fronteiras CRS e VRS	53
Figura 12 - Aplicações dos modelos DEA	53
Figura 13 - Correspondência dos modelos matemáticos e o tipo de eficiência calculada.....	55
Figura 14 - Eficiência técnica e eficiência de escala	56
Figura 15 – Fronteira DEA VRS clássica e invertida.....	61
Figura 16 - Emparelhamento (<i>catch-up</i>) e progresso técnico (<i>frontier-shift</i>)	63
Figura 17 - A fronteira da produtividade.....	66
Figura 18 – O Ciclo PDCA	69
Figura 19 - Visão sistêmica da medição de desempenho	73
Figura 20 - Estrutura e fluxo do relatório A3	80
Figura 21 - O Guarda-Chuva do <i>Kaizen</i>	81
Figura 22 - Tríade das relações: melhoria contínua, eficiência e volume de produção	95
Figura 23 - A lógica da Cebola.....	97
Figura 24 - Método de trabalho	101
Figura 25 – Período de análise	105
Figura 26 – Procedimentos das fases projetar modelo DEA e coletar dados	107
Figura 27 – Organização das unidades de análise (DMUs).....	108
Figura 28 – Procedimento da fase análise dos dados	111
Figura 29 - Macroestrutura da planta em que a pesquisa foi realizada	119
Figura 30 - Linhas de produção	120
Figura 31 - Representação dos modelos para análise	133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição de publicações de DEA por ano	29
Gráfico 2 – Gráfico da curva de aprendizagem segundo modelo de Wright	70
Gráfico 3 - Distribuição do Ganho entre os 6 anos analisados.....	124
Gráfico 4 - Distribuição do volume de produção entre os 6 anos de análise	124
Gráfico 5 - Composição do custo variável total de produção.....	127
Gráfico 6 - Percentual do Ganho nos períodos considerando a soma das linhas C1, C2 e C3	129
Gráfico 7 - Percentual do volume de produção analisado considerando a soma das linhas C1, C2 e C3	130
Gráfico 8 - Importância dos <i>inputs</i> utilizados com base no custo variável total para as linhas C1 e C2	131
Gráfico 9 - Importância dos <i>inputs</i> utilizados com base no custo variável total para a linha C3	131
Gráfico 10 - Tendência de evolução da eficiência composta da linha C1.....	137
Gráfico 11 - Distribuição do rendimento de escala linha C1	141
Gráfico 12 - Tendência de evolução da eficiência composta da linha C2.....	144
Gráfico 13 - Distribuição do rendimento de escala da linha C2.....	149
Gráfico 14 - Tendência de evolução da eficiência composta da linha C3.....	152
Gráfico 15 – Distribuição do rendimento de escala linha C3.....	156
Gráfico 16 – Média anual das eficiências composta VRS das linhas.....	157
Gráfico 17 - Distribuição de frequência da eficiência composta VRS orientada a <i>input</i> das linhas C1, C2 e C3.....	158
Gráfico 18 - Variáveis de melhoria contínua, volume e eficiência linha C1.....	164
Gráfico 19 - Variáveis de melhoria contínua, volume e eficiência linha C2.....	166
Gráfico 20 - Variáveis de melhoria contínua, volume e eficiência linha C3.....	168

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de pesquisa de artigos em bases de dados	24
Quadro 2 - Referências de publicações com uso de DEA.....	25
Quadro 3 - Resumo dos principais conceitos sobre avaliação de desempenho.....	36
Quadro 4 - Principais definições de <i>benchmarking</i>	37
Quadro 5 - Definições de <i>benchmarking</i> : vantagens e desvantagens.....	38
Quadro 6 - Tipos de <i>benchmarking</i>	38
Quadro 7 - Resumo das principais técnicas para cálculo de eficiência e produtividade.....	41
Quadro 8 - Tipos de retorno à escala.....	55
Quadro 9 - Combinações possíveis de insumo e produto das DMUs nos modelos DEA, pressupondo-se rendimentos constantes e variáveis.....	57
Quadro 10 - Benefícios de programas de melhoria contínua estruturados na indústria.....	72
Quadro 11 - Fases da evolução da melhoria contínua.....	75
Quadro 12 - Modelo de medição de desempenho para suportar a evolução do processo de melhoria contínua.	76
Quadro 13 - Significado do 5S	78
Quadro 14 - Funções e regras de utilização do sistema <i>Kanban</i>	83
Quadro 15 - Principais finalidades do sistema <i>Kanban</i>	83
Quadro 16 – Os tipos de <i>layout</i> e suas aplicações.....	89
Quadro 17 – Condução do estudo de caso.....	99
Quadro 18 – Principais conhecedores do processo de fabricação.....	104
Quadro 19 - Descrição e detalhamento dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> utilizados na pesquisa.....	109
Quadro 20 - Definição dos principais pressupostos na análise de regressão linear	114
Quadro 21 - Testes estatísticos aplicados e hipóteses de pesquisa.....	116
Quadro 22 - Variáveis dependentes e independentes utilizadas no teste de regressão linear	117
Quadro 23 - Detalhamento dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> utilizados nas linhas C1 e C2.....	132
Quadro 24 - Detalhamento dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> utilizados na linha C3.....	132
Quadro 25 - Análise comparativa das eficiências composta VRS das linhas.	157
Quadro 26 - Análise aos pressupostos da relação entre melhoria contínua e eficiência	169
Quadro 27 - Análise aos pressupostos da relação entre melhoria contínua e volume de produção	171
Quadro 28 - Análise aos pressupostos da relação entre eficiência composta e volume de produção	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Softwares</i> para solução dos modelos de Análise Envoltória de Dados.....	62
Tabela 2 - Tabela de conversão Seis Sigma	86
Tabela 3 - Quantidade de variáveis utilizadas para as linhas C1, C2 e C3 durante o período de seis anos.....	110
Tabela 4 - Intervenções de manutenção nas linhas C1, C2 e C3.....	120
Tabela 5 - Total de projetos realizados com impacto na eficiência dos <i>inputs</i>	122
Tabela 6 - Número de lotes por produto e período.....	125
Tabela 7 - Distribuição do Ganho e volume de produção por linha/produto e ano.....	126
Tabela 8 - Peso dos insumos <i>inputs</i> sobre o custo variável total.....	128
Tabela 9 - Eficiência da linha C1	135
Tabela 10 - <i>Benchmark</i> – DMUs de referência e escores (λ) da linha C1	138
Tabela 11 - Relação dos alvos e ineficiências das DMUs de menor eficiência da linha C1..	139
Tabela 12 - Eficiência da linha C2.....	142
Tabela 13 - <i>Benchmark</i> – DMUs de referência e escores (λ) da linha C2	145
Tabela 14 - Relação dos alvos e ineficiências das DMUs de menor eficiência da linha C2..	146
Tabela 15 - Eficiência da linha C3	150
Tabela 16 - <i>Benchmark</i> – DMUs de referência e escores (λ) da linha C3	153
Tabela 17 - Relação dos alvos e ineficiências das DMUs de menor eficiência da linha C3..	154
Tabela 18 – Estatística descritiva da eficiência composta linhas C1, C2 e C3	160
Tabela 19 - Análise de variância (ANOVA) linhas C1, C2 e C3.....	161
Tabela 20 - Comparações múltiplas ANOVA (<i>Scheffe</i>) linha C3.....	163
Tabela 21 - Relação entre melhoria contínua e eficiência.....	170
Tabela 22 - Relação entre melhoria contínua e volume de produção.....	172
Tabela 23 - Relação entre eficiência composta e volume de produção.....	174
Tabela 24 - Resumo dos resultados da tríade	176

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Processo de análise Hierárquica.
BCC	Bancker, Charles Cooper.
CCR	Charnes, Cooper and Rhodes.
COLS	Mínimos Quadrados Ordinais Corrigidos.
CQ	Controle da Qualidade.
CQI	(<i>Continuous Quality Improvement</i>) Melhoria Contínua da Qualidade.
CRS	<i>Constant Return to Scale</i> (Retorno Constante de Escala).
DEA	<i>Data Envolutory Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados).
DMU	<i>Decision Making Unit</i> (Unidade de Tomada de Decisão).
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> (Sistema Integrado de Gestão Empresarial).
JIT	(<i>Just-In-Time</i>) principal pilar do Sistema Toyota de Produção.
OLS	Mínimos Quadrados Ordinais.
PDCA	(<i>Plan, do, check, act</i>) Planejar, Executar, Verificar, Agir.
RCE	Rendimentos Constantes de Escala.
RNC	Rendimentos Não Crescentes de escala.
RND	Rendimentos Não Decrescentes de escala.
RVE	Rendimentos Variáveis de Escala.
SFA	Análise de Fronteira Estocástica.
TQC	(<i>Total Quality Control</i>) Controle da Qualidade Total.
TQM	<i>Total Quality Management</i> (Gestão da Qualidade Total).
TRF	Troca Rápida de Ferramentas.
UFF	Universidade Federal Fluminense.
VIF	(<i>Variance Inflation Factors</i>) fatores de aumento de variância.
VRS	<i>Variable Return to Scale</i> (Retorno Variável de Escala).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETO DE ESTUDO E PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo Geral	23
1.2.2 Objetivos Específicos	23
1.3 JUSTIFICATIVA	24
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2 REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA	32
2.1.1 Conceitos de Produtividade, Eficiência, Eficácia, Efetividade e <i>Benchmarking</i>	34
2.1.2 Métodos de Cálculo da Eficiência	40
2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	42
2.2.1 Modelo Retorno Constante de Escala (CCR - CRS)	44
2.2.2 Modelo Retorno Variável de Escala (BCC – VRS)	49
2.2.3 Eficiência e rendimento de escala.....	54
2.2.4 Alvos.....	58
2.2.5 Vantagens e limitações	58
2.2.6 Fronteira invertida e eficiência composta	60
2.2.7 Deslocamento da Fronteira Eficiente.....	62
2.3 FERRAMENTAS DA MELHORIA CONTÍNUA	67
2.3.1 Melhoria contínua e curva de aprendizado.....	70
2.3.2 Medidores de desempenho de programas de melhoria contínua.....	72
2.3.3 A melhoria contínua realmente melhora os resultados das organizações?.....	76
2.3.4 O programa 5S.....	78
2.3.5 O relatório A3	79
2.3.6 O <i>Kaizen</i>.....	81
2.3.7 O sistema <i>Kanban</i>, supermercado de componentes e rotas de abastecimento.....	82
2.3.8 O Sistema <i>Just-in-time</i>	84
2.3.9 O Seis Sigma.....	85
2.3.10 Melhoria de <i>layout</i>	87
2.3.11 ISO (<i>International Organization for Standardization</i>).....	90
2.4 RELAÇÕES ENTRE MELHORIA CONTÍNUA, EFICIÊNCIA E VOLUME DE PRODUÇÃO	90
2.4.1 Relação entre melhoria contínua e eficiência.....	91

2.4.2 Relação entre melhoria contínua e volume de produção	92
2.4.3 Relação entre eficiência e volume de produção	94
3 MÉTODO DE PESQUISA	97
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	97
3.2 MÉTODO DE TRABALHO	100
3.3 COLETA DE DADOS	104
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	111
3.5 DELIMITAÇÃO	117
4 EMPRESA ANALISADA OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO DEA	119
4.1 LEVANTAMENTO DOS PRODUTOS E UNIDADES DE ANÁLISE.....	125
4.2 LEVANTAMENTO DOS <i>INPUTS</i> E <i>OUTPUTS</i>	127
5 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS	134
5.1 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA LINHA C1	134
5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA LINHA C2	141
5.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA LINHA C3	149
5.4 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DAS EFICIÊNCIAS	158
6 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AO LONGO DO TEMPO E O EFEITO DA MELHORIA CONTÍNUA.....	161
7 AVALIAÇÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS	178
REFERÊNCIAS	182
ANEXO A - <i>BENCHMARK</i> LINHA C1.....	193
ANEXO B - <i>BENCHMARK</i> LINHA C2	195
ANEXO C - <i>BENCHMARK</i> LINHA C3.....	197

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de manufatura busca consolidar seu posicionamento competitivo junto aos principais fabricantes mundiais. Nesse setor, fabricantes que operam com baixa eficiência operacional, competem com baixas margens, atuando em mercados com volumes reduzidos e sazonais. Nas empresas de manufatura, a lucratividade ocorre, principalmente, por meio do retorno de escala, ou seja, o resultado depende do desempenho operacional e volume de produção.

A indústria de manufatura é responsável por fornecer produtos e insumos para diversos setores com diferentes aplicações. O Brasil exporta produtos para diversos países, possui fábricas no exterior e autossuficiência na produção de muitos bens manufaturados. Esta pesquisa será realizada em uma planta que fabrica produtos para uso esportivo destinado ao uso civil e policial.

O processo de fabricação e a qualidade dos produtos produzidos na planta são um importante meio para a manutenção da credibilidade internacional da empresa. Do mesmo modo, esses atributos reforçam uma posição diferenciada entre as empresas mais conceituadas do setor em nível mundial. Os produtos produzidos na planta em que o estudo será realizado, localizada no estado do Rio Grande do Sul, necessitam atender às normas internacionais. Além disso, todos os produtos desenvolvidos, obrigatoriamente precisam ser homologados pelos principais bancos de prova nacionais e internacionais. A empresa conta com uma ampla família de produtos, cada uma com uma finalidade específica. A organização estudada e seu respectivo processo produtivo serão descritos em maiores detalhes em seções posteriores desta pesquisa.

A permanente competitividade no setor constitui um dos principais motivos que levaram a indústria brasileira a competir no mercado internacional. Contudo, isso acentua a crescente necessidade desse segmento de desenvolver processos produtivos cada vez mais eficientes, para manter ou aumentar sua participação no mercado internacional. No setor, a eficiência operacional somada aos ganhos de escala permite a concorrência em mercados em que as margens são reduzidas e altamente competitivas.

Ao conceituar eficiência operacional, Ford e Crowther (1927) afirmam que o significado do termo muitas vezes se mascara com outras definições. Para os autores (1927, p. 13), eficiência significa “[...] fazer o trabalho da melhor e não da pior maneira”. Para Charnes, Cooper e Rhodes (1978), eficiência significa a habilidade em que os insumos são convertidos em produtos no processo de manufatura. Para Soares de Mello et al. (2005, p. 2522)

“Eficiência é um conceito relativo. Compara o que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos”. Para análise da eficiência operacional e da produtividade, Coelli et al. (2005) apresentam três principais técnicas utilizadas: a Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*), a Análise da Fronteira Estocástica (SFA – *Stochastic Frontier Analysis*) e o Índice de Malmquist.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma ferramenta matemática para a medida de eficiência de unidades produtivas. (SOARES DE MELLO et al., 2005). Almeida (2010) explica que a DEA consiste em uma técnica baseada na programação linear, capaz de comparar e determinar a eficiência de unidades homogêneas que utilizam múltiplos *inputs* e *outputs*. Segundo Lins e Meza (2000), a Análise Envoltória de Dados passou a ter uma abordagem analítica rigorosa na medição da eficiência produtiva, a partir do trabalho de Pareto-Koopmans e Debreu (1951), no qual a eficiência técnica é definida como um vetor *input-output*, que pode ser tecnicamente eficiente se atender as seguintes condições:

Nenhum dos *outputs* pode ser aumentado sem que algum outro *output* seja reduzido ou algum *input* necessite ser aumentado.
Nenhum dos *inputs* possa ser reduzido sem que algum outro *input* seja aumentado ou algum *output* seja reduzido. (LINS; MEZA, 2000, p. 1).

Para Nuryartono, Anggraenie e Firdaus (2012) a análise da fronteira estocástica (SFA – *Stochastic Frontier Analysis*) consiste em uma técnica paramétrica, que utiliza a medição relativa da eficiência da função de produção, promovida de forma independente por Aigner, Lovell e Schmidt em 1977 e Meeusen e Broeck em 1977. O índice de Malmquist foi inicialmente proposto por Malmquist, em 1953, em estudos sobre o comportamento do consumidor. Trata-se de uma técnica utilizada para análise da eficiência ao longo do tempo, verificando o deslocamento da fronteira eficiente em relação a novos patamares de eficiência. (FERREIRA; GOMES, 2009). Para Almeida (2010) o índice de Malmquist tem como principal proposta comparar períodos diferentes utilizando dados dos *inputs* e *outputs* de um determinado período base.

Outro aspecto relevante para melhoria da eficiência está na aprendizagem e na melhoria contínua. Segundo Pruett e Thomas (2008), a aprendizagem baseada na experiência acumulada ao longo do tempo leva a um incremento na eficiência. Além disso, a aprendizagem baseada na experiência pode também afetar significativamente o custo de produção. (WRIGHT, 1936). Souza, Macedo e Ferreira (2010) destacam que a melhoria contínua é a única maneira capaz de manter uma empresa em patamares competitivos. Imai

(1992) apresenta o conceito de melhoria contínua *Kaizen*. O *Kaizen* significa melhoramento contínuo. Essa concepção adquire popularidade no Japão como um investimento de baixo valor financeiro e um método comprovado para aumentar a qualidade e produtividade. Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) destacam que a ideia de melhoria contínua está associada à capacidade de resolução de problemas através de pequenos passos, de alta frequência e de ciclos curtos de mudança.

Para Attadia e Martins (2003), a melhoria contínua é sistemática porque utiliza uma abordagem científica em que o processo de resolução de problemas é estruturado em etapas como a identificação das causas, escolha, planejamento e padronização da solução. Schonberger (1997, p. 253) afirma que “[...] o treinamento e a educação constantes são a chave para o futuro”.

Nesses termos, pode ser sugerido que o aumento ou o declínio da eficiência operacional nas organizações, ao longo do tempo, está correlacionado a três fatores principais: atualização tecnológica, processo de aprendizagem baseada na experiência e processo de melhoria contínua.

Logo, a avaliação longitudinal da eficiência constitui uma importante ferramenta para a gestão empresarial e a assertividade na tomada de decisão. Para Laranjeira (2008), muitas avaliações de desempenho e eficiência focam apenas a vertente financeira, sendo que os resultados não revelam, muitas vezes, ineficiências nos níveis tático e operacional. Nesse contexto, a Análise Envoltória de Dados (DEA) pode representar um meio para a avaliação longitudinal da eficiência e dos programas de melhoria contínua e aprendizado na empresa estudada. Além disso, a ferramenta em questão possibilita a avaliação da tríade que aborda as relações entre: programas de melhoria contínua, eficiência e volume de produção, ao longo do tempo. Na próxima seção, será apresentado o problema de pesquisa e o objeto de estudo utilizado nesta dissertação.

1.1 OBJETO DE ESTUDO E PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Barney e Hesterly (2007), uma empresa tem vantagem competitiva quando cria mais valor econômico do que seus rivais. Goldratt (1989, p. 14) alerta que “Não podemos fechar os olhos e esperar sobreviver, como se esta fosse outra fase passageira,” é necessário buscar uma maneira de melhorar continuamente.

Com foco na busca por novos mercados, principalmente em competir no mercado internacional, as empresas investem constantemente no aprimoramento de sua capacidade

produtiva e eficiência operacional. Na empresa estudada, a principal medida de eficiência utilizada consiste na divisão de horas de produto reportado (horas de produto apontadas no ERP - *Enterprise Resource Planning*) por horas homem (registradas no cartão ponto). Tal medida possui um nível limitado de apuração de eficiência devido ao fato de não considerar outros recursos produtivos com relevância para a operação. Do mesmo modo, a atual medida também acaba limitando as ações gerenciais em função da restrição de informações. Além disso, utiliza-se a mão de obra como parâmetro de avaliação. Nesse caso, o custo da mão de obra representa menos de 5% do custo total da empresa, sendo o formato utilizado pouco relevante para a análise da eficiência.

Assim, é possível perceber que a medida de eficiência baseada em horas de produto reportado por horas homem, não leva em conta recursos como: consumo de ferramentas e componentes, insumos, utilização de máquinas, etc. O uso destes pode ser avaliado por meio dos alvos na Análise Envoltória de Dados, contribuindo para a assertividade das ações de melhoria. Logo, o indicador de eficiência utilizado pela empresa não possibilita que o gestor avalie as variáveis relevantes em relação à eficiência, o que pode levá-lo a tomar decisões equivocadas.

Dentre as decisões equivocadas, estão os investimentos em recursos de prioridade irrelevante. Como consequência da apuração da eficiência, existe um comprometimento do conhecimento sobre a verdadeira eficiência operacional da empresa. Contudo, no caso estudado, pode ser dito que existe uma falta de conhecimento por parte da gestão quanto à verdadeira fronteira eficiente da empresa.

Segundo Porter (1999), a fronteira eficiente é aquela constituída pela soma das melhores práticas utilizadas em um setor. Logo, isso sugere que a falta de conhecimento da fronteira eficiente, ou seja, de suas melhores práticas, implica a falta de conhecimento sobre a sua real posição competitiva. Essa falta de domínio se reflete em um desequilíbrio entre a proporção do montante de investimentos realizados em melhorias e tecnologias e o real incremento na eficiência da operação. A falta de uma medida eficaz para avaliação da eficiência produtiva leva a erros na tomada de decisão. Tais erros contribuem para gastos desnecessários em projetos de melhoria fracamente mensuráveis ou desalinhados com os objetivos da organização.

Nesse contexto, medir a eficiência produtiva torna-se uma prática necessária para uma melhor tomada de decisão, principalmente no que diz respeito à operação. Não medir a eficiência pode implicar o comprometimento do potencial competitivo das empresas, principalmente em mercados fora do Brasil. Logo, a medição de desempenho é importante

para alcançar a eficiência em processos empresariais. Entretanto, esse processo, nas empresas, em geral, tem sido limitado em função de medidas inadequadas, de ausência de vínculos entre as medidas e da estratégia das empresas. (LARANJEIRA, 2008).

Além disso, as ineficiências podem estar associadas à má utilização dos recursos, a metas desencontradas com a realidade, à inadequação dos processos ou a estruturas empresariais fora do contexto de negócio em que a organização está inserida. (LARANJEIRA, 2008). Contudo, pode ser sugerido que a falta ou a má análise da eficiência ao longo do tempo conduz a empresa aos seguintes prejuízos:

- a) definição de metas inalcançáveis;
- b) investimento desnecessário em recursos de prioridade irrelevante;
- c) falta de conhecimento sobre a real posição da empresa;
- d) falta de investimento em recursos críticos, como gargalos que limitam o potencial produtivo e a lucratividade da empresa;
- e) investimento em aumento da capacidade sem antes ter explorado a capacidade máxima dos recursos já existentes;
- f) implantação de programas de melhoria sem saber se eles estão realmente proporcionando algum tipo de resultado relevante ou justificando os investimentos realizados;
- g) investimento em treinamentos e capacitações de pessoal sem saber se os resultados estão indo ao encontro dos objetivos da organização.

Essas limitações são consequências do problema que será abordado neste estudo. A presente pesquisa aborda o conceito de eficiência relativa com base no *benchmarking* interno, avaliando cada DMU (*Decision Making Unit*), ou seja, Unidade de Tomada de Decisão, separadamente. Tal abordagem busca entender como os investimentos em programas de melhoria contínua e aprendizagem estão afetando a eficiência da empresa ao longo do tempo. Uma ferramenta importante para a identificação e a comparação dos processos produtivos mais eficientes é o *benchmarking*. O *benchmarking* interno possibilita uma fácil coleta de informações com confiabilidade, favorecendo a comparação das atividades similares de uma mesma organização. (SPENDOLINI,1992).

O *benchmarking* tem sido uma ferramenta básica para a melhoria dos processos, com principal foco nas melhores práticas de outras empresas. Percebe-se que, muitas vezes, as organizações negligenciam suas melhores práticas internas deixando de utilizar seus

benefícios. O *benchmarking* interno pode proporcionar várias vantagens em relação ao *benchmarking* externo, como por exemplo: a facilidade de acesso a informações, a confiabilidade dos dados e a facilidade na transferência do conhecimento, resultados difíceis de conseguir no *benchmarking* externo. (SOUTHARD; PARENTE, 2007).

Por meio do *benchmarking* externo é possível identificar situações em que há necessidade de atualização tecnológica com potencial para aumentar a eficiência. Antes de adquirir um novo recurso tecnológico, muitas empresas preferem o *benchmarking* externo. Tal estratégia possibilita a certificação de que o recurso realmente pode atender suas necessidades. Um dos principais inconvenientes do *benchmarking* externo está no fato de as empresas alvo resistirem a compartilhar informações por receio de perder distinções competitivas. Assim, o *benchmarking* interno deveria sempre ser priorizado antes de se recorrer à comparação externa. (SOUTHARD; PARENTE, 2007).

Além do uso do *benchmarking*, o processo de aprendizagem também contribui para o aumento da eficiência. Franceschini e Galletto (2003) indicam a naturalidade do processo de aprendizagem concebido por meio da repetição. Quanto maior for o número de repetições, menores serão os erros. (FRANCESCHINI; GALLETO, 2003). Dentre outros sentidos, é nessa direção que se pode sugerir que o processo de aprendizagem conduz à elevação da eficiência. Tal proposição vem ao encontro das afirmações de Pruett e Thomas (2008), que referem que a aprendizagem baseada na experiência acumulada ao longo do tempo leva a um incremento da eficiência.

Um aspecto importante a se observar no caso em questão, diz respeito à ausência de uma avaliação longitudinal da eficiência e dos programas de melhoria contínua na empresa estudada. Atualmente, a organização realiza avaliações verticais (apenas uma foto do mês), o que acaba não refletindo a sua real posição. Essa prática é comum em todas as empresas do grupo. Assim, o gestor foca suas decisões em uma análise pontual. Além disso, o administrador não sabe como a eficiência da empresa está se comportando ao longo do tempo, e como os programas de melhoria estão contribuindo para o aumento da eficiência. É nesse sentido que se pode dizer que a avaliação longitudinal da eficiência e dos projetos de melhoria contínua consiste em uma importante métrica para o alinhamento das decisões do gestor. Na Figura 1, abaixo, está apresentado o desenho de pesquisa. Nela estão as etapas das avaliações a serem realizadas na empresa de manufatura.

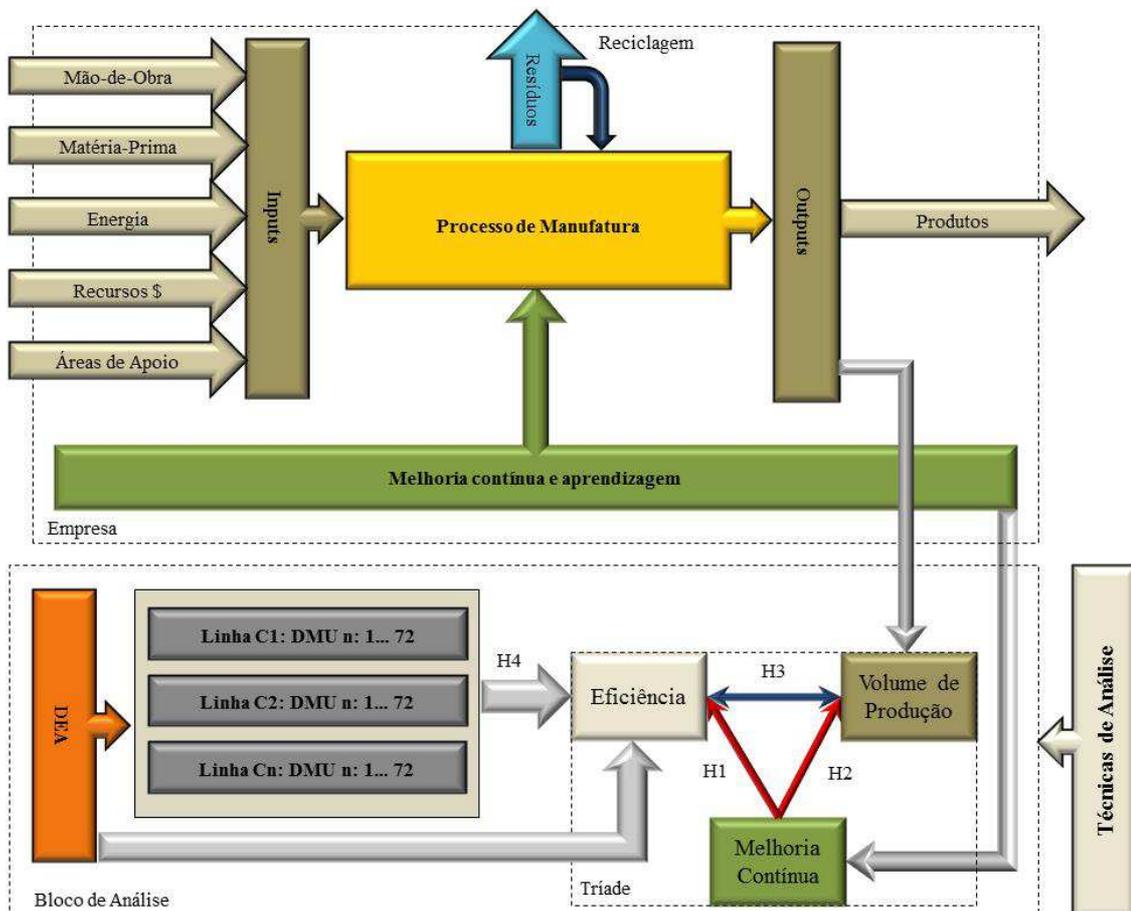
No processo de fabricação, cada tipo de produto é produzido em um equipamento e conjunto de ferramentais específico. Os produtos são manufaturados em lotes mensais para cada modelo. Os lotes mensais produzidos foram considerados como as unidades de análise

da pesquisa (DMUs – *Decision Making Unit*). As unidades de análise foram levantadas durante o período de seis anos consecutivos, totalizando 72 DMUs (referentes a 72 lotes e 72 meses) para cada modelo de produto analisado.

Além disso, foram levantados dados de todos os projetos de melhoria contínua, de horas de treinamento dos funcionários, de volumes de produção e de tempo médio de permanência dos empregados. Com essas informações, foi possível verificar quais variáveis foram relevantes para a melhoria da eficiência da empresa ao longo do tempo. Espera-se, com essa avaliação, verificar se os projetos de melhoria causaram alguma modificação na fronteira de eficiência dos processos durante o período avaliado.

Na pesquisa longitudinal, foram realizadas avaliações em um período de seis anos consecutivos, entre os anos de 2007 e 2012. Durante esses seis anos de análise, nenhuma máquina foi adquirida para aumentar a capacidade da planta, pois a produção não teve aumentos significativos de volume em função das restrições de mercado. As principais melhorias realizadas no período foram programas de melhoria contínua como: *Kaizen*, *Lean* e *5's*. A Figura 1 representa o desenho da pesquisa com as principais etapas do estudo.

Figura 1 – Desenho de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os recursos de entrada constituem um conjunto de variáveis chamadas de *inputs*. Dentre os *inputs*, estão os recursos necessários à produção do produto acabado como: recursos humanos, matérias-primas, energia, recursos financeiros, áreas de apoio, entre outros. Nesse contexto, entram os projetos de melhoria contínua e de aprendizagem. Além disso, existem os resíduos e os rejeitos gerados durante o processo de fabricação. Parte desse rejeito é reciclado e volta para o processo de fabricação.

Na parte inferior da Figura 1, está representado o bloco de análise da presente pesquisa. Nele estão inseridas as avaliações de eficiência realizadas em cada linha de produção por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Cada linha produz um determinado tipo de produto e suas respectivas DMUs (lotes produzidos em cada mês). No centro do bloco de análise está a hipótese de pesquisa (H4) referente à eficiência de cada linha de produção durante o período. Essa hipótese avalia se as médias de eficiência em cada ano, durante um período de seis anos, foram diferentes ou não para cada linha de produção. No mesmo bloco também está inserida a tríade com as hipóteses sobre as relações entre melhoria contínua, eficiência e volume de produção (H1, H2 e H3). No lado direito do bloco estão representadas as técnicas de análise para avaliação da tríade e do período de análise.

As relações apresentadas na tríade representada na Figura 1, de modo geral, não são discutidas na literatura de forma integrada, mas sim com abordagens isoladas sobre cada tema, a saber: i) melhoria contínua e eficiência; ii) melhoria contínua e volume de produção; iii) eficiência e volume de produção. A literatura se restringe a uma abordagem positiva dos projetos de melhoria contínua em relação a aumento de volume de produção e de eficiência. Contudo, com base em buscas em bases de dados, verificou-se um número reduzido de artigos referente às questões voltadas à análise dos programas de melhoria contínua ao longo do tempo, bem como à efetiva contribuição deles na melhoria do desempenho das organizações. Assim, durante as buscas nas bases de dados, também não foram encontrados artigos sobre uma análise integrada em relação à tríade apresentada na Figura 1. Com isso, a pesquisa realiza uma abordagem centrada na melhoria contínua e no seu impacto no ambiente produtivo ao longo do tempo.

Bessant e Caffyn (1997) e Wu e Chen (2006) destacam que a melhoria contínua promove o aperfeiçoamento de desempenho dos processos ao longo do tempo. Contudo, os estudos desses autores não mostraram como mensurar os resultados longitudinalmente. Easton e Jarrell (1998) alertam que apesar dos benefícios demonstrados em muitos programas de

melhoria contínua, a maioria das tentativas para usá-los, por parte das empresas, termina em fracasso.

Muitas organizações, por não avaliarem as relações apresentadas na tríade (Figura 1), tomam decisões equivocadas e, muitas vezes, sem efeito para aumentar o desempenho. Além disso, essas empresas acabam investindo recursos desnecessariamente, comprometendo a lucratividade e desperdiçando tempo em projetos com benefícios desconhecidos. Outro aspecto interessante diz respeito à relação entre volume de produção e eficiência. Essa relação encontra-se em destaque no contexto da economia, com abordagens voltadas às deseconomias de escala, ou seja, não foram encontrados estudos no campo da engenharia de produção abordando tal relação. Um ponto importante a ser observado diz respeito à experiência dos funcionários no contexto da melhoria contínua.

Franceschini e Galetto (2003) destacam que as organizações utilizam as curvas de aprendizado para promover a eliminação de problemas, para aumentar a taxa de melhoria e a previsão do comportamento dos processos. Além disso, as curvas também são úteis para estimar os custos referentes ao trabalho de um determinado processo produtivo quando este incorpora um novo produto. Stroeke, Fogliatto e Anzanello (2013) indicam que boa parte das pesquisas envolvendo curvas de aprendizado têm como objetivo aumentar a qualidade da produção pela otimização do desempenho dos processos, melhorando a utilização dos recursos, reduzindo custos de processamento. Levy (1965) e Li e Rajagopalan (1997) apresentaram estudos associando o efeito do aprendizado ao aumento de desempenho quando um novo processo é introduzido. Esses estudos revelaram que a experiência adquirida através do tempo possibilita à empresa produzir mais unidades em determinado intervalo de tempo com redução de custos de produção. Contudo, apesar dos benefícios apresentados em relação à curva de aprendizagem, os autores não apresentam uma forma robusta para medir os resultados ao longo do tempo. Assim, existe um risco de não se conhecer os verdadeiros benefícios.

Acredita-se que as variáveis relacionadas aos projetos de melhoria contínua e aprendizado podem contribuir, ao longo do tempo, para o deslocamento da fronteira eficiente das empresas. (GILSA, 2012). Segundo Ferreira e Gomes (2009), esse deslocamento da fronteira eficiente pode ser obtido principalmente por melhorias no processo produtivo ou por mudanças tecnológicas. A realização deste estudo abordando as relações entre melhoria contínua, eficiência e volume de produção, com o uso da Análise Envoltória de Dados, pode contribuir para avaliar os resultados desses projetos. A falta de avaliação dos programas de melhoria contínua constitui um fator crítico e de importância relevante para as empresas. Como todo projeto, o principal objetivo está em obter vantagens que possibilitem melhorias

na eficiência operacional e aumento da competitividade. Para isso, a empresa necessita realizar investimentos que realmente possam contribuir para a realização desse objetivo. A falta de avaliação do desempenho de projetos pode levar a gastos desnecessários, comprometendo a lucratividade da empresa em médio ou longo prazo.

De acordo com o contexto apresentado, a problematização deste trabalho busca verificar a eficiência longitudinal de uma empresa de manufatura. Portanto, o problema central de pesquisa consiste em responder a seguinte questão:

Quais os impactos das relações dos programas de melhoria contínua e aprendizado em termos de eficiência e volume de produção?

Na seção 1.1, apresentou-se o problema de pesquisa e o objeto de estudo do presente trabalho. Na seção 1.2 serão apresentados os objetivos gerais e específicos.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, os objetivos gerais e específicos da pesquisa são desdobrados com maior profundidade.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em realizar a análise das relações da tríade: melhoria contínua e eficiência, melhoria contínua e volume de produção, eficiência e volume de produção.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são os seguintes:

- a) analisar se houve ou não melhoria na eficiência operacional da empresa ao longo do tempo considerando os processos de melhoria contínua baseados na acumulação de conhecimento e aprendizado;
- b) analisar se houve ou não melhoria na eficiência operacional da empresa ao longo do tempo considerando os investimentos em melhorias por meio do deslocamento da fronteira eficiente;

- c) identificar quais variáveis referentes aos programas de melhoria contínua contribuíram para melhoria da eficiência da empresa;
- d) identificar quais variáveis referentes aos programas de melhoria contínua impactaram o volume de produção;
- e) avaliar estatisticamente as relações referentes à melhoria contínua e eficiência, melhoria contínua e volume de produção e volume de produção e eficiência ao longo do tempo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Para subsidiar a justificativa do ponto de vista acadêmico, adotaram-se alguns procedimentos básicos para citar a revisão sistemática da literatura. No Quadro 1 estão indicadas as principais palavras-chave para pesquisa de artigos em bases nacionais e internacionais.

Quadro 1 - Critérios de pesquisa de artigos em bases de dados

Fonte	Palavra-chave central	Conector	Palavra-chave de ligação
Nacional	DEA	E	Melhoria contínua
	Eficiência	E	Melhoria contínua
			Volume de produção
			Aprendizado
	Melhoria contínua	E	Volume de produção
			Avaliação longitudinal da eficiência
Relações entre volume e eficiência			
Internacional	<i>Data Envelopment Analysis</i>	<i>And</i>	<i>Continuous improvement</i>
	<i>Efficiency</i>	<i>And</i>	<i>Continuous improvement</i>
			<i>Production volume</i>
			<i>Learning</i>
	<i>Continuous Improvement</i>	<i>And</i>	<i>Production volume</i>
			<i>Longitudinal evaluation of efficiency</i>
<i>Relationship between volume and efficiency</i>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

A busca por artigos e dissertações utilizando as palavras-chave descritas no Quadro 1 foi realizada nas seguintes bases de dados:

- a) bases nacionais: Scielo nacional, CAPES, Banco de Teses e Dissertações;
- b) bases internacionais: EBSCO, Scielo internacional.

As palavras-chave apresentadas no Quadro 1 foram identificadas com a contribuição das referências de publicações com uso de DEA elencadas no Quadro 2. Assim, o Quadro 2 traz o número de publicações relacionadas às principais palavras-chave utilizadas em maior frequência nos estudos sobre Análise Envoltória de Dados nos últimos anos.

Quadro 2 - Referências de publicações com uso de DEA

Palavra-chave	Publicações	Palavra-chave	Publicações
Data Envelopment Analysis	1637	Mathematical programming	118
Efficiency	558	Optimization	112
Decision making unit(s)	392	Health care or hospital	103
Linear programming	341	Multivariate analysis	89
Decision theory	269	Production	84
Mathematical models	216	Parametric	80
Productivity	215	Benchmarking	78
Operations research	215	Regression analysis	76
Economics	192	Production control	73
Management	181	Statistical models	72
Performance	176	Human resource allocation	61
Bank or banking	135	Statistical analysis	58
Nonparametric	120	Education	44
Technical efficiency	120	Nonparametric statistics	40

Fonte: Emrouznejad, Parker e Tavares (2008, p. 155).

Após a pesquisa utilizando as palavras-chave apresentadas no Quadro 1, não foram encontrados artigos ou dissertações abordando as relações entre melhoria contínua, eficiência e volume de produção, de forma integrada. No âmbito dessa busca, verificou-se uma lacuna de trabalhos sobre o tema proposto, tanto nacional quanto internacionalmente. Tal fato reforça a relevância da presente pesquisa. A avaliação longitudinal da tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção representa uma importante contribuição para o setor de manufatura.

Este estudo procura identificar os principais benefícios, referentes à medição de desempenho, encontrados na Análise Envoltória de Dados em relação às medições paramétricas convencionais. Possivelmente, este é também o primeiro trabalho a realizar uma abordagem sobre a tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção, de forma longitudinal, em uma empresa de manufatura.

Lins e Meza (2000) destacam características relevantes da Análise Envoltória de Dados que explicam as principais vantagens da abordagem em relação aos métodos convencionais para medição da eficiência. Entre essas vantagens, estão as seguintes:

- a) possui diferenciação em relação aos métodos baseados unicamente em valores econômicos, dispensando a conversão em unidades monetárias dos *inputs* e *outputs*;
- b) os índices de eficiência obtidos são baseados em dados reais, sem o uso de formulações teóricas;
- c) considera todos os resultados da avaliação, inclusive “*outliers*”, como possíveis *benchmarks* a serem utilizados pelas demais DMUs (*Decision Making Unit*);
- d) diferente das abordagens paramétricas convencionais, tem como principal vantagem aperfeiçoar cada uma das observações individuais, determinando uma fronteira linear por partes, referente ao conjunto de DMUs. (LINS; MEZA, 2000).

Logo, as vantagens apresentadas anteriormente constituem uma contribuição importante para o setor de manufatura, proporcionando uma medida robusta para avaliação da eficiência produtiva. Entretanto, parte das empresas do referido setor ainda utilizam medidas de eficiência baseadas nas horas de produto reportado por horas/homem. Com isso, acabam não conhecendo a verdadeira eficiência do negócio. Essa condição favorece o aumento dos desperdícios e a falta de conhecimento das ações de melhoria que realmente podem refletir no aumento da eficiência da empresa. Nesse sentido, esta pesquisa pode contribuir com um modelo que busca explicar tais relações, com base em dados relevantes e com capacidade de diferenciação em relação aos métodos convencionais de medição da eficiência. Além disso, pode contribuir para o direcionamento de ações com potencial para elevação da eficiência operacional da empresa estudada.

Ferreira e Gomes (2009) destacam que a preocupação em mensurar a eficiência já existe há muitos anos. Ações como estabelecer conceituações que buscam medidas robustas de eficiência envolvem o estabelecimento de critérios capazes de determinar a melhor condição possível para a tomada de decisão por pessoas, empresas, instituições e organizações.

A Análise Envoltória de Dados busca a utilização relativa dos recursos disponíveis para produção. É nesse sentido que se pode dizer que a eficiência técnica das organizações produtivas não é o único fator para determinar a competitividade. (PORTER, 1999). Contudo, a Análise Envoltória de Dados pode ser entendida com uma contribuição que não necessita de complementação para fazer o que é certo. Os modelos matemáticos não paramétricos da ferramenta podem atender as demandas de aplicação prática, mantendo o rigor da análise

científica, contribuindo de forma consistente para as organizações e pesquisas acadêmicas. (FERREIRA; GOMES, 2009).

As características listadas fazem da Análise Envoltória de Dados uma técnica importante para uso no setor de manufatura e no meio empresarial em geral, constituindo uma ferramenta relevante de análise da eficiência. Tal propriedade justifica sua utilização na presente pesquisa, destacando uma importante contribuição para avaliação da eficiência operacional de unidades produtivas de qualquer natureza. Desse modo, esta pesquisa ajudará os gestores das empresas a avaliar com maior efetividade a real posição da organização, permitindo uma maior compreensão dos fatores que realmente contribuem para o aumento da eficiência. Além disso, poderá colaborar com a avaliação dos programas de melhoria contínua, amplamente difundidos no meio empresarial. Tais programas, em sua maioria, não contam com avaliações consistentes o suficiente para comprovar sua real contribuição para a melhoria da eficiência operacional ao longo do tempo.

Os trabalhos sobre melhoria contínua encontrados nas bases limitam-se a fazer avaliações isoladas e não integradas, não considerando, por exemplo, o impacto do volume na eficiência ao longo do tempo. Além disso, as poucas pesquisas achadas que mensuram os projetos de melhoria, não identificam qual tipo de projeto de melhoria (*Kaizen*, A3, horas de capacitação, etc.) é mais importante para o aumento da eficiência.

Esta pesquisa contribui com a proposição de um modelo explicativo, capaz de avaliar, de forma conjunta, o grau de importância de cada projeto de melhoria utilizado na empresa. O modelo poderá proporcionar um melhor entendimento sobre a atual posição da empresa em relação aos projetos de melhoria. Do mesmo modo, busca contribuir para o direcionamento de esforços e ações relevantes ao aumento da eficiência, servindo de referência para outras empresas.

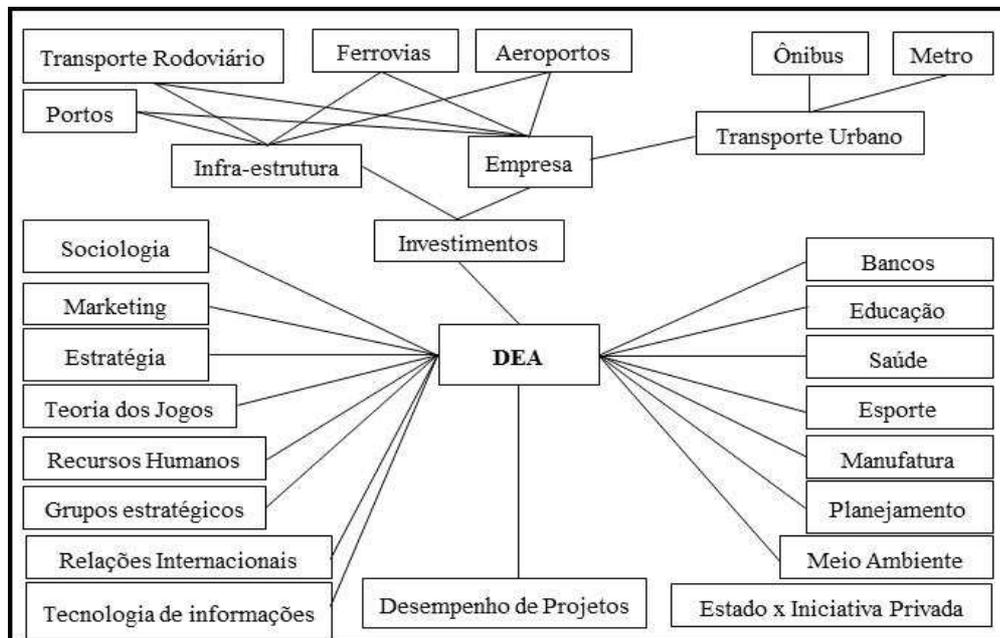
Segundo Shiba, Graham e Walden (1997), existem três categorias relacionadas à melhoria contínua: o controle de processo, a melhoria reativa e a melhoria proativa. O controle de processo deve ser monitorado para garantir que está funcionando de acordo com o planejado. A melhoria reativa trata da melhoria de um processo ruim, ou seja, de um processo que apresenta falhas, como defeitos e perdas. A abordagem reativa busca a eliminação do ponto fraco através de um processo estruturado de resolução de problemas.

A melhoria proativa, na maioria das situações, não parte de uma ideia clara a respeito de uma melhoria específica. Inicialmente, é necessário reconhecer que há um problema e explorar amplamente a situação para entender o que está acontecendo para, então, formular um problema. Contudo, pode ser necessário verificar o que o cliente

necessita, qual produto desenvolver ou qual processo tem maior necessidade de melhoria. (SHIBA; GRAHAM; WALDEN, 1997). Assim, nesses termos, o estudo longitudinal da eficiência e dos programas de melhoria, por meio da Análise Envoltória de Dados, pode contribuir para que a empresa mude de uma postura reativa para uma postura proativa, proporcionando melhores resultados.

Assim, a Análise Envoltória de Dados contribui, em função de sua robustez, para a avaliação da eficiência produtiva, mantendo o rigor da análise científica. Ela possui uma ampla diversidade de aplicações, principalmente pela sua flexibilidade e facilidade de aplicação. A Figura 2 mostra as aplicações possíveis em diversos setores. (PAIVA JR., 2000).

Figura 2 - Áreas de aplicação de DEA



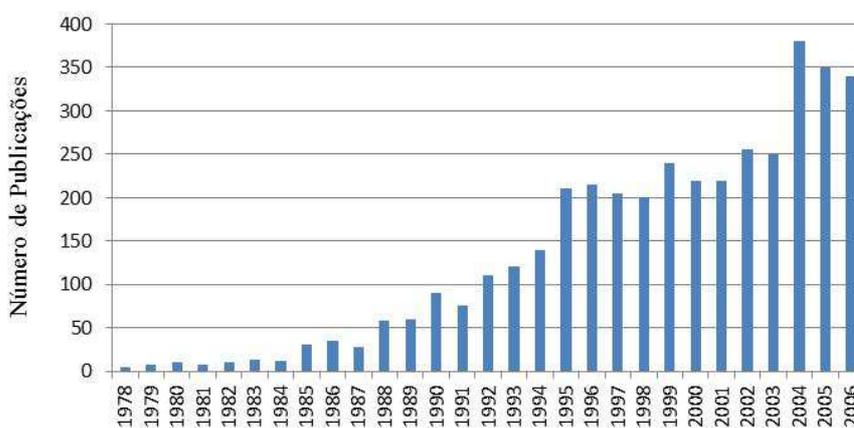
Fonte: Adaptado de Paiva Jr. (2000, p. 53).

Uma das contribuições desta pesquisa está em identificar oportunidades de melhoria em partes importantes da operação por meio dos alvos. Os alvos são os valores utilizados na Análise Envoltória de Dados referentes às entradas ou saídas de uma determinada DMU, que permitem tornar essa DMU ineficiente em uma DMU eficiente (FERREIRA; GOMES, 2009). Com o uso dos alvos será possível verificar, na operação, quais insumos estão sendo consumidos em excesso. Do mesmo modo, será possível direcionar ações para reduzir esse consumo e melhorar a eficiência da unidade de análise. Essa funcionalidade não é possível obter por meio das técnicas convencionais de medição de eficiência utilizadas pela empresa.

Esta pesquisa aprofunda a avaliação da relevância dos programas de melhoria contínua no aumento da fronteira eficiente da empresa estudada. Outra importante contribuição é a utilização da Análise Envoltória de Dados como ferramenta para averiguar a eficiência produtiva interna (*benchmarking* interno), dispensando a necessidade de comparações com outras fábricas, como seria no caso de se usar o *benchmarking* externo. A avaliação do *benchmark* interno é uma prática atualmente negligenciada na empresa estudada. A maioria das organizações possui acesso restrito às informações e às tecnologias utilizadas pela concorrência. Por esse motivo, torna-se difícil a realização do *benchmarking* externo, o que reforça a importância da utilização de referências internas.

Nos últimos 30 anos, houve um crescente interesse em se medir eficiência utilizando a Análise Envoltória de Dados. Conforme pesquisa realizada por Emrouznejad, Parker e Tavares, (2008), desde o início das publicações feitas por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, até o ano de 2006, os estudos sobre o assunto chegaram a um montante superior a quatro mil. Essas publicações foram realizadas por mais de dois mil e quinhentos autores. O Gráfico 1 mostra a evolução das publicações sobre Análise Envoltória de Dados no período de 1978 a 2006.

Gráfico 1 – Distribuição de publicações de DEA por ano



Fonte: Emrouznejad, Parker e Tavares (2008, p. 153).

A aplicação da Análise Envoltória de Dados teve um crescimento rápido e contínuo em diversos setores nos últimos 30 anos. Logo, a ferramenta é utilizada em diversas áreas de conhecimento. (EMROUZNEJAD; PARKER; TAVARES, 2008).

Com base nos argumentos apresentados, é congruente afirmar que existe a necessidade da elaboração de um modelo explicativo integrado e robusto, capaz de avaliar o desempenho

dos programas de melhoria e aprendizado no meio empresarial. Assim, esta pesquisa apresenta contribuições nesse sentido. Além disso, possibilita a avaliação das estratégias de crescimento e competitividade das empresas em diversos setores. Contudo, a presente pesquisa tem importante relevância para o setor de manufatura. O trabalho pode, ainda, contribuir para a sociedade, de maneira a ser utilizado como auxílio a novos estudos voltados à análise longitudinal da eficiência com base nos programas de melhoria contínua. Tudo isso reforça a relevância da presente pesquisa, que apresenta abordagens pouco comuns no âmbito da técnica em questão. Na próxima seção, será apresentada a estrutura do trabalho.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nesta seção será apresentada a forma em que este trabalho está estruturado. Tal procedimento tem o objetivo de facilitar o entendimento e a leitura do tema abordado. O capítulo 1 inicia com a introdução ao tema pesquisado, destacando o problema que motiva a pesquisa. Logo depois apresenta os objetivos gerais e específicos a serem alcançados. Posteriormente, elucida a justificativa, apontando a relevância do estudo e mostrando os principais argumentos que sustentam a pesquisa.

O capítulo 2 traz o referencial teórico alusivo ao tema, fazendo uma revisão bibliográfica que aborda os principais tópicos relevantes ao objeto de estudo. Contudo, na seção em questão são abordados conceitos referentes à Análise Envoltória de Dados (DEA) e às principais ferramentas e relações da melhoria contínua. No final do capítulo é apresentada a tríade entre melhoria contínua, eficiência e volume de produção, juntamente com as principais hipóteses de pesquisa. O objetivo da apresentação da tríade consiste em orientar as análises da pesquisa em relação à literatura existente.

No capítulo 3 são apresentados os métodos de pesquisa e de trabalho utilizados, explicitando a arquitetura do estudo através de um desenho com as etapas necessárias para atingir os objetivos definidos no capítulo 1.

No capítulo 4 é apresentado um breve descritivo da empresa (local da pesquisa) e das linhas de produção em que a pesquisa foi realizada. Do mesmo modo, é explicitada a atual condição e idade média dos equipamentos da planta. Também no capítulo 4 é apresentado o caso com posterior avaliação do período, mostrando o levantamento dos principais produtos e unidades de análise, assim como os principais *inputs* e *outputs* do processo. Além disso, são expostos os principais projetos de melhoria contínua com potencial para impactar a eficiência da planta estudada realizados no período de análise.

O capítulo 5 trata a avaliação dos resultados obtidos na eficiência DEA, assim como a identificação dos *benchmarks* e alvos para as DMUs ineficientes. Essa etapa consiste em um importante meio para avaliação do impacto dos projetos de melhoria contínua na eficiência das linhas de produção. Posteriormente, os resultados são complementados pelas análises do capítulo 6. Já no capítulo 6, é apresentada a avaliação estatística, com destaque à avaliação com teste de regressão linear múltipla. Nessa etapa são avaliadas as hipóteses de pesquisa que formam a tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção. Logo, o capítulo 6 responde à questão de pesquisa.

O capítulo 7 apresenta o fechamento do trabalho, a saber, a avaliação geral e as prováveis contribuições relevantes. Por fim, são apresentadas as considerações finais e os referencias utilizados para sustentação da pesquisa. Na próxima seção, será apresentado o capítulo referente ao referencial teórico.

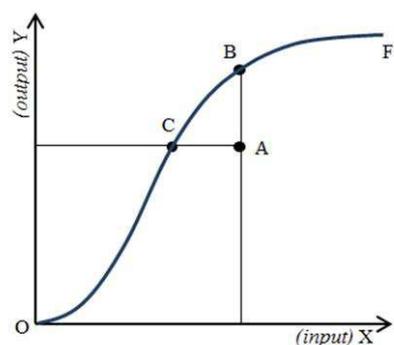
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo está estruturado a abordar os seguintes temas que compõem o referencial teórico: fundamentos da análise de eficiência; conceitos de produtividade, eficiência, eficácia, efetividade e *Benchmarking*; métodos de cálculo da eficiência; Análise Envoltória de Dados; análise do deslocamento da fronteira eficiente; conceitos de melhoria contínua; melhoria contínua e curva de aprendizado; medição dos programas de melhoria contínua; principais conceitos relacionados à melhoria contínua, como 5S, A3, *Kaizen*, *Kanban*, *just-in-time*, Seis Sigma, *layout* e ISO; e relações entre melhoria contínua e eficiência, melhoria contínua e volume de produção, eficiência e volume de produção. Após o encerramento dos temas anteriormente citados, é apresentado o método de pesquisa utilizado.

2.1 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA

Os termos produtividade e eficiência são utilizados com frequência pelos meios de comunicação. Tais conceitos são abordados de maneira similar, mas na verdade não têm, precisamente, a mesma definição. (COELLI et al., 2005). Para Ferreira e Gomes (2009), a produtividade está relacionada à maneira com que um determinado processo utiliza seus recursos para realizar a produção, ou seja, como o insumo pode ser utilizado da melhor maneira possível. Para Soares de Mello et al. (2005) eficiência sugere a comparação do que foi produzido, a partir de determinados recursos, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. Coelli et al. (2005) propõem uma abordagem que mostra a distinção entre os dois termos. Para exemplificar, a Figura 3 mostra um processo de produção simples com, respectivamente, uma única entrada (X) que é utilizada para produzir uma única saída (Y).

Figura 3 - Fronteira de produção e eficiência técnica

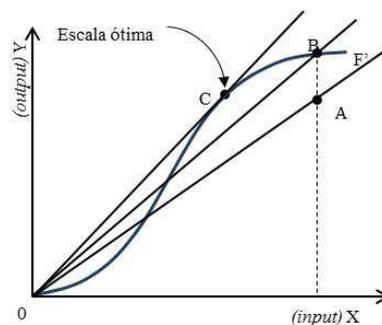


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Coelli et al. (2005, p. 4).

A linha curvada indicada na Figura 3 representa a fronteira de produção que pode ser utilizada para definir a relação entre a entrada e a saída de um único insumo e de um único produto (X e Y) em um determinado sistema produtivo. A fronteira de produção representa a produção máxima atingível a partir de cada um dos níveis de entrada. Tal característica reflete o estado atual da tecnologia produtiva utilizada pela empresa tomada como exemplo em um determinado setor. (COELLI et al., 2005). As empresas desse setor que operam na fronteira eficiente podem ser consideradas tecnicamente eficientes. No entanto, as que operam abaixo da fronteira eficiente são consideradas tecnicamente ineficientes. O exemplo da Figura 3 favorece o entendimento entre produtividade e eficiência. Nesse exemplo, as empresas situadas nos pontos B e C são consideradas eficientes, pois se encontram sobre a reta OF' que representa a fronteira de eficiência. A empresa representada pela letra C é a mais produtiva, pois se encontra na região da curva em que a produtividade é a máxima possível. Soares de Mello et al. (2005) sugerem a comparação entre os coeficientes angulares das retas OC e OB. Nesse caso, a empresa mais produtiva é aquela que está sobre a reta de maior coeficiente angular. A unidade A é a única que está fora da fronteira eficiente, portanto pode-se concluir que ela não é eficiente e, ao mesmo tempo, não é produtiva.

A Figura 4 ilustra de outra forma a diferença entre a produtividade e a eficiência. Na Figura, a empresa que opera no ponto A e se desloca para o ponto B passa a ser uma empresa tecnicamente eficiente. No entanto, se esta mesma empresa se deslocar para o ponto C, passa a operar com produtividade máxima, ou seja, em escala ótima, sendo o ponto em questão, neste caso, denominado como o seu ponto de eficiência de escala. (COELLI et al., 2005).

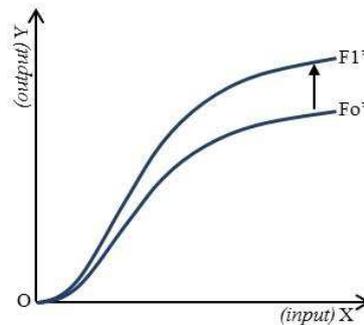
Figura 4 - Produtividade, eficiência técnica e economia de escala



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Coelli et al. (2005, p. 5).

A partir dessa abordagem, conclui-se que uma empresa pode ser tecnicamente eficiente e ainda assim ser capaz de melhorar sua produtividade, chegando ao ponto de sua máxima produtividade, ou seja, explorando o ponto de eficiência de escala. Nesses termos, a produtividade e eficiência não possuem, precisamente, o mesmo conceito. Segundo Coelli et al. (2005), para uma empresa atingir a sua eficiência técnica ou sua eficiência de escala, demanda um componente de tempo. Quando se considera comparações de produtividade ao longo do tempo com incremento da produtividade, seja, por exemplo, com um avanço na tecnologia de produção, pode ocorrer um deslocamento da fronteira de produção. Esse deslocamento é demonstrado na Figura 5, em dois períodos distintos.

Figura 5 - Mudança técnica entre dois períodos distintos



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Coelli et al. (2005, p. 6).

O período F1' indica a nova fronteira de produção que se deslocou de um período para outro ($Fo' \rightarrow F1'$) em função do avanço de tecnologia ou de melhorias no sistema produtivo da empresa. Após essa breve e importante definição entre os termos produtividade e eficiência, torna-se facilitado o entendimento dos conceitos a serem abordados posteriormente. Na próxima seção, serão tratados, resumidamente, os conceitos referentes à produtividade, eficiência, eficácia, efetividade e ao *Benchmarking*. Esse esclarecimento tem o objetivo de facilitar o entendimento dos termos e as relações deles com a Análise Envoltória de Dados.

2.1.1 Conceitos de Produtividade, Eficiência, Eficácia, Efetividade e *Benchmarking*

O principal objetivo do esclarecimento desses conceitos é facilitar o entendimento dos termos quando utilizados no contexto das abordagens que envolvem a Análise Envoltória de

Dados (DEA). Tais definições são frequentemente entendidas de forma equivocada como equivalentes ou similares, mas na verdade possuem significativas distinções.

A produtividade, segundo Ferreira e Gomes (2009), está relacionada à forma com que os recursos são utilizados para a realização da produção. Ela pode ser expressa pelo quociente da produção pelo insumo empregado. O conceito de produtividade sugere que o insumo (*input*) seja utilizado sem excesso, ou da melhor forma possível. Soares de Mello et al. (2005) propõem que a produtividade pode ser entendida como a “razão do que foi produzido e o que foi gasto para produzir”. Coelli et al. (2005) também indicam o conceito de produtividade como a razão entre as saídas (*outputs*) e entradas utilizadas (*inputs*). Dessa forma, a produtividade pode ser resumida pela seguinte Equação:

$$Produtividade = \frac{Saídas (outputs)}{Entradas (inputs)} \quad (1)$$

A eficiência, conforme descrito anteriormente, é um conceito relativo que compara a produção realizada por unidade de insumo com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos disponíveis. (FERREIRA; GOMES, 2009). Segundo Mariano et al. (2006) o conceito de eficiência é obtido pela divisão entre um indicador de desempenho e o seu correspondente máximo, dado pela Expressão 2:

$$Eficiência = \frac{Produtividade}{Produtividade_{máxima}} \quad (2)$$

O quociente resultante do cálculo da eficiência está entre 0 e 1, podendo ser expresso em percentuais. Para uma mesma unidade de análise, a eficiência pode ser calculada de duas maneiras: (a) a eficiência absoluta; e (b) eficiência relativa. Para a eficiência absoluta, a produtividade máxima consiste em um valor idealizado. Para a eficiência relativa, a produtividade máxima está referenciada com a produtividade de um concorrente, nesse caso, o mais eficiente. (ALMEIDA, 2007). O conceito de eficiência se refere à forma de realizar uma determinada tarefa, sendo que não se examina se o produto ou resultado do trabalho eficiente está adequado à finalidade proposta. (SANDRONI, 1999).

Soares de Mello et al. (2005) definem eficácia como o atingimento de uma meta produtiva sem levar em conta os recursos utilizados para essa produção. Ferreira e Gomes (2009) indicam que a eficácia está relacionada ao atendimento de um determinado objetivo sem levar em conta quais recursos foram utilizados e como foram utilizados. Segundo Prieto e Zofio (2001), a eficácia consiste na habilidade para atingir metas. Sandroni (1999, p. 198) conceitua eficácia como “fazer o que necessita ser feito para alcançar determinado objetivo”.

Prieto e Zofio (2001) afirmam que a efetividade consiste na capacidade de obter os resultados pretendidos. Meggison (1986) indica que o conceito de efetividade pode ser entendido como a realização correta de um determinado objetivo. Para Sandroni (1996), a efetividade, quando relacionada ao desempenho de uma organização, está em conexão com os resultados obtidos e os objetivos propostos. No Quadro 3 são apresentados, de forma resumida, os principais conceitos sobre a avaliação de desempenho dos sistemas produtivos.

Quadro 3 - Resumo dos principais conceitos sobre avaliação de desempenho

Medidas de desempenho	Características	Expressões
Produtividade	Relacionada à forma com que os recursos são utilizados. Busca utilizar os insumos da melhor maneira possível.	$\text{Produtividade} = \frac{\text{produção}}{\text{insumo}}$
Eficiência	Conceito relativo que compara o que foi produzido com o que poderia ser produzido.	$\frac{\text{produção}}{\text{insumo}}$ realizada, comparada com $\frac{\text{produção}}{\text{insumo}}$ a mais adequada
Eficácia	Atingir a meta estabelecida sem levar em conta os recursos utilizados.	$\text{Eficácia} = \frac{\text{unidades metas obtidas} \times \text{Tempo planejado para alcançar a meta}}{\text{Metas programadas} \times \text{tempo real para chegar ao resultado obtido}}$
Efetividade	É alcançar os resultados almejados.	$\text{Efetividade} = \frac{\text{resultados}}{\text{objetivos}}$

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida (2007) e Ferreira e Gomes (2009).

Após a apresentação dos conceitos referentes à avaliação dos sistemas produtivos, discute-se a definição de *benchmark*. A história do *benchmarking* teve início na Xerox Corporation, no ano de 1979. Nessa época, a Xerox Corporation utilizou o *benchmarking* competitivo em suas operações de manufatura para verificar seus custos unitários de fabricação através da comparação de determinados produtos. Tal processo é definido como “**processo contínuo de medição de produtos, serviços e práticas** em relação aos mais fortes

concorrentes, ou às **empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias**”. (CAMP, 1993, p. 8). No Quadro 4, o termo é abordado em detalhes.

Quadro 4 - Principais definições de *benchmarking*

Característica	Definição
Processo contínuo	Constitui um processo gerencial de autoaperfeiçoamento, necessitando de continuidade para ser eficaz. As práticas necessitam ser continuamente monitoradas de forma a garantir a constante descoberta das melhores.
Medição	“O termo <i>benchmarking</i> significa medição”. Tal prática (medição) pode ser realizada de duas maneiras: as práticas internas e externas.
Produtos, serviços e práticas	A aplicação do <i>benchmarking</i> pode ser utilizada em todas as áreas de uma organização, como em produtos e serviços, em processo de fabricação, em processos de apoio, etc.
Empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias	A prática do <i>benchmarking</i> não deve se restringir unicamente aos concorrentes diretos dos produtos de uma empresa. O <i>benchmarking</i> deve ser direcionado às empresas ou funções reconhecidas como as melhores em suas indústrias.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Camp (1993).

O conceito de *benchmarking* é entendido como um processo contínuo e sistemático para avaliação de produtos, serviços e processos de trabalho em organizações reconhecidas pelas suas melhores práticas, com o propósito de buscar a melhoria organizacional. Nesse contexto, o *benchmarking* é visto como um parâmetro de comparação entre o desempenho de organizações, produtos, processos e serviços (CAMP, 1993; SPENDOLINI, 1992).

Sandroni (1999, p. 50) conceitua *benchmarking* como “ponto de referência” ou “unidade padrão”, com o objetivo de estabelecer comparações entre produtos, serviços, processos, etc. Essa comparação permite identificar se os demais produtos e serviços se encontram acima ou abaixo em relação ao referencial estabelecido. Spendoline (1992) aponta três tipos de *benchmarking* utilizados pelas organizações. Entre estes, estão: *benchmarking* interno, externo (competitivo) e funcional. Esses três tipos são abordados no Quadro 5.

Quadro 5 - Definições de *benchmarking*: vantagens e desvantagens

Tipo	Definição	Vantagens	Desvantagens
<i>Benchmark</i> interno	Similar atividade em diferentes localizações, departamentos, unidades operacionais, país, etc.	- Fácil coleta de dados; - Bons resultados para diversas empresas.	- Foco limitado; - Tendências internas.
<i>Benchmark</i> externo (competitivo)	Concorrentes diretos vendendo para a mesma base de clientes.	- Informação relevante para os resultados da empresa; - Práticas comparáveis/tecnologias; - História da coleta de informações.	- Dificuldade para coleta de dados; - Questões éticas; - Atitudes antagônicas.
<i>Benchmark</i> funcional (genérico)	Organizações reconhecidas por trabalhar no “estado da arte” em produtos, serviços e processos.	- Alto potencial para descobrir práticas inovadoras; - Acesso relevante a bases de dados.	- Dificuldade em transferir práticas em diferentes ambientes; - Algumas informações não são transferíveis; - Demorado.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Spendolini (1992, p. 17).

Southard e Parente (2007) alertam a relevância de priorizar o *benchmarking* interno em relação ao externo. Um dos principais inconvenientes da avaliação externa seria a dificuldade de conseguir informações confiáveis e de fácil acesso. Em geral, as empresas preferem não compartilhar dados com receio de prejudicar seu potencial competitivo. Camp (1993) afirma que existem pelo menos quatro tipos de *benchmarking*: (1) *benchmarking* interno, (2) *benchmarking* com concorrentes diretos externos, (3) *benchmarking* com as melhores operações funcionais externas ou com líderes da indústria, e (4) *benchmarking* de processos genéricos. O Quadro 6 mostra resumidamente essas definições.

Quadro 6 - Tipos de *benchmarking*

Tipo de Benchmarking	Descrição
<i>Benchmarking</i> interno	Comparação do desempenho de unidades ou departamentos dentro de uma organização.
<i>Benchmarking</i> concorrente externo	Comparação do desempenho próprio com o desempenho dos concorrentes; a comparação pode ser feita em produtos ou serviços e processos de negócios.
<i>Benchmarking</i> funcional	Comparação contra as melhores organizações que operam no grupo do mesmo setor.
<i>Benchmarking</i> genérico	Comparação contra os melhores sem levar em conta indústria.

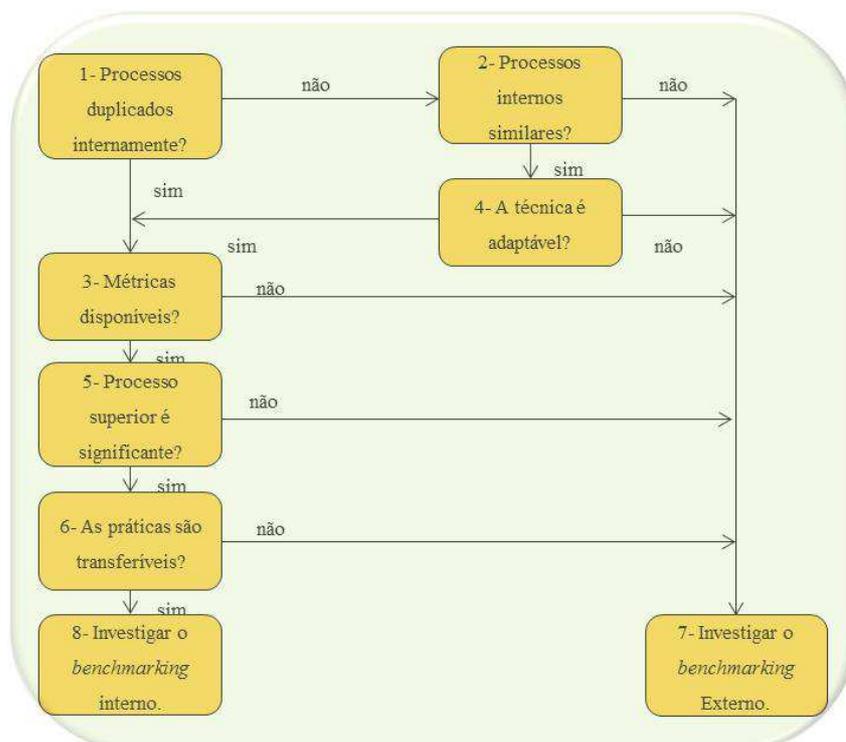
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Camp (1993) e Rakesh et al. (2008, p. 105).

Rakesh et al. (2008) propõem que as diversas definições de *benchmarking* existentes na literatura compartilham os mesmos conceitos. Todas elas mostram características comuns, tais como a melhoria contínua, as melhores práticas, etc. Para os autores, o aumento da concorrência mundial levou muitas empresas a procurarem as melhores práticas, a fim de aperfeiçoarem continuamente seus processos e manterem a competitividade no mercado. Do mesmo modo, a busca pela melhoria contínua, inevitavelmente, leva a comparações de avaliação de desempenho junto aos concorrentes.

Ferreira e Gomes (2009) apontam a necessidade e a importância da avaliação de *benchmark* na Análise Envoltória de Dados (DEA). Essa abordagem possibilita verificar se uma determinada DMU está próxima ou não da DMU de maior destaque, ou seja, se a DMU se encontra na fronteira eficiente. Tal avaliação é útil quando realizada a comparação de diversas DMUs de um mesmo grupo ou processo. As DMUs de maior destaque podem fornecer informações importantes que possibilitam direcionar ações para melhoria das ineficientes.

Bhutta e Huq (1999) propõem uma abordagem com cinco etapas para escolha do tipo de *benchmarking* antes da realização de um estudo externo. A Figura 6 explica em detalhes tal processo de decisão.

Figura 6 - Fluxograma para escolha do *benchmarking* interno ou externo



Fonte: Southard e Parente (2007, p. 164).

Na próxima seção, serão abordados alguns dos principais métodos para cálculo da eficiência e da produtividade. Dentre esses métodos, está a Análise Envoltória de Dados (DEA), que será abordada com maior detalhamento em função de ser o principal método utilizado nesta dissertação.

2.1.2 Métodos de Cálculo da Eficiência

Ferreira e Gomes (2009) afirmam que a preocupação em mensurar a eficiência já existe há muito tempo. Farrell, em 1957, deu início aos primeiros cálculos de eficiência com o artigo “*The Measurement of Productive Efficiency*”, no qual tentava desenvolver melhores métodos para avaliação da produtividade envolvendo conceitos de análise de atividades. Posteriormente, o trabalho de Farrel de 1957 foi adaptado por Banker, Charnes e Cooper (1978). Segundo Cooper, Seiford e Zhu (2004), o trabalho empírico de Farrel limitava-se a utilizar um único produto, sendo que não atendia os requisitos necessários quando aplicado a grandes volumes de dados em múltiplos produtos. O trabalho de Cooper partiu dos estudos de Debreu e de Koopmans, de 1951, e obteve uma medida simples para calcular a eficiência de uma unidade de tomada de decisão (DMU) que utiliza vários insumos. (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 21).

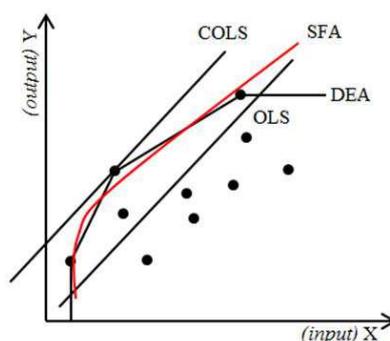
Segundo Coelli et al. (2005), os métodos para cálculo da eficiência podem ser classificados em métodos paramétricos e não paramétricos. Dentre os métodos mais aplicados estão a Análise Envoltória de Dados (DEA) e os números índices, que são considerados métodos não paramétricos. No entanto, as fronteiras estocásticas (SFA) e os modelos de regressão (OLS e COLS) são considerados métodos paramétricos. (MARQUES; SILVA, 2006). Segundo Coelli et al. (2005) os métodos paramétricos ou não paramétricos podem, ainda, se classificar em não fronteira ou fronteira. Segundo Mariano et al. (2006), a técnica paramétrica avalia a eficiência com base em uma função produção. Lins e Meza (2000) alertam a desvantagem apresentada por esse método, que considera uma função produção média e não uma função produção máxima. Por considerar uma função produção média, tal técnica é classificada como não fronteira.

Oliveira e Gomes (2003) destacam que a Análise Envoltória de Dados possibilita estimar a eficiência relativa mediante uma fronteira. Nesses termos, o significado de fronteira eficiência diz respeito aos pontos que demarcam a produtividade pela qual uma unidade produtiva é tecnicamente eficiente. (LORENZETT; LOPES; LIMA, 2004). Desse modo, a Análise Envoltória de Dados é classificada como uma técnica em fronteira, ou seja, que utiliza

como parâmetro a fronteira de eficiência formada pelos melhores resultados da unidade de análise.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) e a SFA são respectivamente métodos em fronteira, ao passo que os números índices e os modelos de regressão (OLS, COLS) constituem métodos não fronteira. (MARQUES; SILVA, 2006). A Figura 7 mostra a comparação entre os métodos paramétricos e não paramétricos, em fronteira e não fronteira.

Figura 7 - Tecnologias de produção obtidas por diferentes métodos



Fonte: Marques e Silva (2006, p. 91).

Marques e Silva (2006) reforçam que o DEA é um método não paramétrico, ou seja, é empiricamente baseado, enquanto os restantes (OLS, COLS e SFA) requerem a especificação de uma função para a tecnologia de produção. O Quadro 7 mostra o resumo das principais técnicas utilizadas para cálculo de eficiência e produtividade.

Quadro 7 - Resumo das principais técnicas para cálculo de eficiência e produtividade

Técnica	Característica		
Análise Envoltória de Dados (DEA)	Não Paramétrico	Multivariadas	Fronteira
Índice de Laspeyres	Paramétrico	Univariadas	Não Fronteira
Índice de Paasche	Paramétrico	Univariadas	Não Fronteira
Índice de Fischer	Paramétrico	Univariadas	Não Fronteira
Índice de Törnqvist	Paramétrico	Multivariadas	Não Fronteira
Índice de Malmquist	Paramétrico	Multivariadas	Não Fronteira
Processo de Análise Hierárquica (AHP)	Não Paramétrico	Multivariadas	Não Fronteira
Mínimos Quadrados Ordiniais (OLS)	Paramétrico	Multivariadas	Não Fronteira
Mínimos Quadrados Ordiniais Corrigidos (COLS)	Paramétrico	Multivariadas	Fronteira
Análise de Fronteira Estocástica (SFA)	Paramétrico	Multivariadas	Fronteira
Free Disposal Hull (FDH)	Não Paramétrico	Multivariadas	Fronteira
Thick Frontier Approach (TFA)	Paramétrico	Multivariadas	Fronteira
Distribution Free Approach (DFA)	Paramétrico	Multivariadas	Fronteira

Fonte: Gilsa (2012, p. 39).

Na próxima seção, será apresentado o referencial teórico com maior enfoque na Análise Envoltória de Dados (DEA).

2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise Envoltória de Dados ou Teoria da Fronteira (DEA, sigla inglesa de *Data Envelopment Analysis ou Frontier Analysis*) é baseada em modelos matemáticos não paramétricos, ou seja, não utiliza inferências estatísticas ou medidas de tendência central. A DEA não necessita de determinação de relações funcionais entre os insumos e produtos, também não se restringe a medidas únicas, singulares dos insumos e produtos. (FERREIRA; GOMES, 2009).

A Análise Envoltória de Dados (DEA) tem seu primeiro registro no ano de 1978, com o estudo de Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E.L., “*Measuring the efficiency of decision making units*”. Charnes, Cooper e Rhodes, naquele ano, destacaram que a Análise Envoltória de Dados (DEA) seria uma extensão do trabalho de medição de eficiência proposto por Farrell em 1957. Trabalhos que antecedem os estudos de Charnes e Cooper incluem as pesquisas de Afriat, em 1972, Aigner e Chu, em 1968, Shephard, em 1970, Debreu, em 1951, e Farrell, em 1957, bem como as definições conceituais de Koopmans, em 1951, de Pareto, em 1927, e a transformação linear fracional de Charnes e Cooper, em 1962. (SEIFORD, 1996).

Para Seiford (1996), a Análise Envoltória de Dados (DEA) teve início com a dissertação de Rhodes, que abordava a avaliação de um programa de acompanhamento na educação dos EUA. O objetivo dessa dissertação era desenvolver um método para comparar a eficiência de escolas públicas dentro do programa educacional para alunos carentes, chamado *Program Follow Through*, patrocinado pelo governo norte americano. O problema abordado no trabalho de Rhodes estava em desenvolver um método para comparar a eficiência (*Decision Making Units - DMUs*) levando em conta “*outputs*” como: escores aritméticos; melhoria de autoestima medida em testes psicológicos; habilidade psicomotora, e “*inputs*” como: número de professores-hora; e tempo gasto pela mãe em leituras com o filho. (LINS; MEZA, 2000).

O primeiro artigo publicado descrevendo a técnica com abordagem na Análise Envoltória de Dados foi realizada por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978. Para aplicação da técnica em questão, é necessário que sejam obedecidos alguns conceitos importantes. Segundo Lins e Meza (2000, p. 7) “[...] produção é um processo no qual os *inputs* (insumos

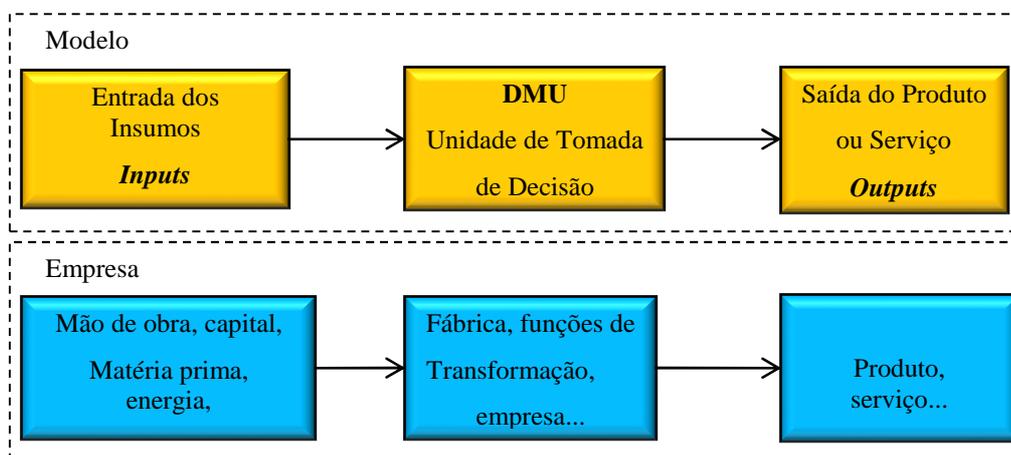
ou recursos) são utilizados para gerar *outputs* (produtos) [...]”. No entanto, é possível considerar que “[...] a fronteira de produção (ou função fronteira de produção) pode ser definida como a máxima quantidade de *outputs* (produtos) que podem ser obtidos dados os *inputs* (insumos ou recursos) utilizados”. (LINS; MEZA, 2000, p. 7).

DMU ou *Decision Making Unit* consiste em uma unidade para tomada de decisão de uma unidade produtiva. O termo pode ser definido como um departamento, uma divisão ou uma unidade administrativa ou até mesmo como um item cuja eficiência está sendo avaliada. Do mesmo modo, as DMUs são consideradas unidades de análise essenciais para uso da Análise Envoltória de Dados. (MACEDO; SILVA; SANTOS, 2006).

O conjunto de DMUs adotados em uma análise DEA deve ter em comum a utilização dos mesmos *inputs* e *outputs*, ser homogêneos e ter autonomia na tomada de decisões. Com relação às variáveis, cada uma destas deve operar na mesma unidade de medida em todas as DMUs, mas pode estar em unidades diferente das outras. (LINS; MEZA, 2000, p. 7).

A Figura 8 mostra a associação entre a DMU (unidade de tomada de decisão) e os *inputs* e *outputs* utilizados na Análise Envoltória de Dados (DEA):

Figura 8 - Relação entre *input*, DMU e *output* – DEA



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Análise Envoltória de Dados possui diferenças significativas em relação às técnicas convencionais para análise de eficiência. A DEA difere dos métodos baseados em avaliação puramente econômica e não necessita converter todos os *inputs* e *outputs* em unidades monetárias. Além disso, os índices de eficiência obtidos são baseados em dados reais e não em fórmulas teóricas. A Análise Envoltória de Dados também considera os “*outliers*” não apenas com desvios em relação ao comportamento “médio”, mas como possíveis *benchmarks*

a serem estudados pelas demais. O método em questão é importante para apoiar decisões de natureza multicritério, sendo capaz de realizar uma melhor modelagem da complexidade do mundo real. (LINS; MEZA, 2000).

Ferreira e Gomes (2009) destacam que é necessário um bom entendimento das propriedades e dos condicionamentos dos modelos de Análise Envoltória de Dados para avaliação de seus resultados. Contudo, é importante conhecer bem a organização em análise, considerando sempre a opinião dos especialistas das unidades de avaliação. Oliveira (2008) apresenta três etapas importantes para aplicação da DEA:

- a) definição e seleção das unidades de análise (DMUs);
- b) definição e seleção das principais variáveis (*inputs e outputs*);
- c) escolha dos modelos de aplicação e orientação.

Ferreira e Gomes (2009) reforçam que a quantidade de DMUs deve ser três vezes maior do que a soma dos *inputs e outputs*. Tal critério é necessário para aumentar o poder discriminatório das DMUs eficientes. À medida que o número de variáveis vai aumentando (*inputs e outputs*) em um determinado grupo de DMUs, aumenta também a possibilidade de mais DMUs chegarem ao desempenho máximo, ou seja, de muitas alcançarem a fronteira eficiente. A seleção do conjunto de DMUs deve sempre obedecer a critérios anteriormente descritos. Na próxima seção, será apresentado o modelo com retornos constantes de escala.

2.2.1 Modelo Retorno Constante de Escala (CCR - CRS)

Segundo Soares de Mello et al. (2005), o modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes), apresentado originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), constrói uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Esse modelo opera com retornos constantes de escala, e também é conhecido como CRS (Constant Returns to Scale).

Na Análise Envoltória de Dados, no modelo CRS com retorno constante de escala, as variações nas entradas dos insumos (*inputs*) estão associadas a uma variação proporcional na saída dos produtos (*outputs*). No modelo CRS existe uma função de produção linear. A inclinação da reta representa essa função de produção que determina os rendimentos constantes de escala. (FERREIRA; GOMES, 2009). Tal modelo consiste em uma representação generalizada proposta por Farrel, em 1957, para múltiplos insumos e produtos. O índice de eficiência é obtido por meio da combinação linear dos *outputs* dividida pela

combinação linear dos *inputs* de uma determinada DMU. (LINS; MEZA, 2000). Para Mariano et al. (2006), o modelo CRS pode ser ilustrado pelas Equações (3), (4) e (5).

$$MAX_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{i0}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{j0}} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (4)$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0 \quad (5)$$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* j ;

v_j = peso calculado para o *input* j ;

x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor;

y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor;

x_{j0} = quantidade do *input* j para unidade em análise;

y_{j0} = quantidade do *output* i para unidade em análise;

z = número de unidades em avaliação;

m = número de *outputs*;

n = número de *inputs*.

Logo, a Equação 3 consiste na função objetivo (FO) que deve ser maximizada. A Equação 4 representa o conjunto de restrições (uma para cada DMU) que tem o objetivo de limitar a produtividade de todas as DMUs a 1. Com a resolução do modelo, é possível avaliar a eficiência da DMU. Assim, se o resultado da função objetivo for igual a 1, a DMU é considerada eficiente, pois atingiu seu valor máximo. Entretanto, se apresentar um valor menor do que 1, é considerada ineficiente. Logo, as que limitam a função objetivo são consideradas *benchmark* da DMU analisada, servindo de modelo para que a DMU ineficiente possa se tornar eficiente. Dessa forma, o resultado da função objetivo será a eficiência relativa da DMU. (MARIANO et al., 2006).

A expressão acima indicada por u e v se refere aos pesos ou multiplicadores estabelecidos aos *inputs* e *outputs*. Nesse modelo, por convenção, todos os itens devem ser menores ou iguais a 1. O objetivo do problema está em encontrar os valores das variáveis u_i e v_j que constituem os pesos, maximizando a soma ponderada dos *outputs* dividida pela soma ponderada dos *inputs* de uma determinada DMU, sujeita a restrição onde seu quociente seja ≤ 1 , para todas as DMUs. Com essa condição, todas as eficiências irão variar entre 0 e 1. Esse processo é repetido para todas as DMUs que, nesse caso, acabam obtendo valores diferenciados para u_i e v_j . (LINS; MEZA, 2000).

Generalizando o modelo DEA CRS, ele consiste em um modelo de programação fracionária, que permite infinitas soluções. Contudo, existe a necessidade de linearizá-lo, transformando-o em um modelo de programação linear. A linearização pode ser feita mantendo-se os *inputs* constantes e maximizando os *outputs*, ou então se mantendo os *outputs* constantes e minimizando os *inputs*. (MARIANO et al., 2006).

A eficiência de uma DMU no modelo CRS orientado ao *input* é calculada por meio do problema de programação linear, conforme Equações (6), (7), (8) e (9).

$$MAX_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{i0}}{1} = \sum_{i=1}^m u_i Y_{i0} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n v_j x_{j0} = 1 \quad (7)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 = \sum_{i=1}^m u_i Y_{jk} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0, \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (8)$$

$$u_i = v_j > 0 \quad (9)$$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i ;

v_j = peso calculado para o *input* j ;

x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor;

y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor;

x_{j0} = quantidade do *input* j para unidade em análise;

y_{j0} = quantidade do *output* i para unidade em análise;

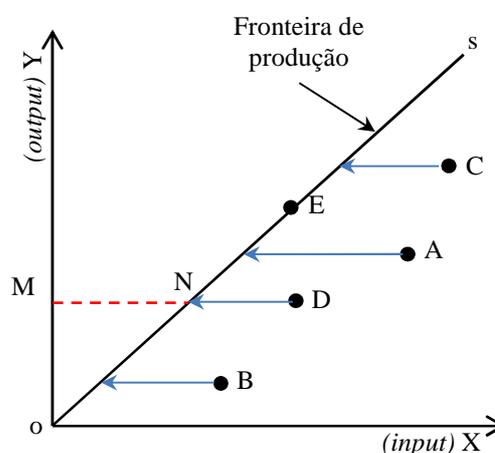
z = número de unidades em avaliação;

m = número de *outputs*;

n = número de *inputs*.

Segundo Mariano et al., (2006), a única diferença entre o modelo de programação fracionária e o de programação linear consiste na inclusão da Equação 7. Mediante essa inclusão, a função objetivo é transformada em uma equação linear. A Figura 9 representa um modelo de duas variáveis constituídas por um *input* e um *output* com cinco DMUs. Nesse exemplo, a fronteira CRS é representada pela reta \overline{os} , em que a DMU eficiente E é mais eficiente do que as DMUs A, B, C e D. Nessa representação, todas as DMUs que não estão na fronteira eficiente são, portanto, consideradas ineficientes. A eficiência da DMU D é fornecida pela distância do eixo Y até o ponto N, dividida pela distância do eixo Y até o ponto M. (LINS; MEZA, 2000, p. 12).

Figura 9 - Fronteira CRS com orientação para *input*



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Lins e Meza (2000, p. 13).

Nesse caso, quanto maior for a relação Y/X , maior será a eficiência. Na Figura 9, a DMU “E” é a mais eficiente. As demais DMUs que estão abaixo da fronteira de produção eficiente, são consideradas ineficientes. Os modelos apresentados anteriormente se referem aos modelos com orientação para *input*. A orientação para *input* significa minimizar a utilização dos recursos de entrada (*inputs*), de forma a não reduzir a quantidade de saídas (*outputs*).

Para Mariano et al. (2006), o mesmo procedimento utilizado na minimização dos *inputs* pode ser utilizado na maximização dos *outputs*. Dessa maneira, a função objetivo (FO) representada pela Equação 10 será o inverso da eficiência relativa. As restrições são representadas pelas Equações (11), (12) e (13).

$$MAX_{PO} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n v_j x_{j0}} = MIN_{FO} = \sum_{j=1}^n v_j x_{j0} \quad (10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{i0} = 1 \quad (11)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 = \sum_{i=1}^m u_i Y_{jk} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0, \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (12)$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0 \quad (13)$$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i;

v_j = peso calculado para o *input* j;

x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor;

y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor;

x_{j0} = quantidade do *input* j para unidade em análise;

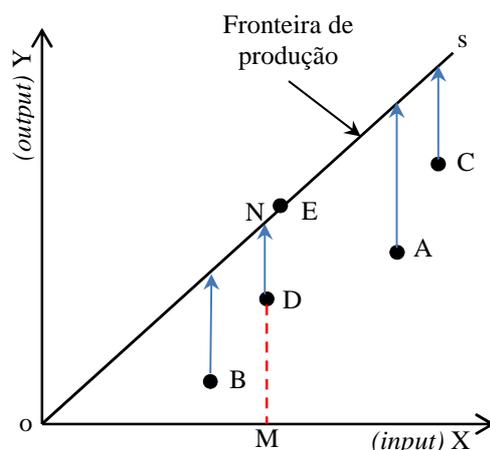
y_{j0} = quantidade do *output* i para unidade em análise;

z = número de unidades em avaliação;

m = número de *outputs*;

n = número de *inputs*.

A Figura 10 apresenta o modelo com orientação para *output*. O objetivo consiste em maximizar as saídas (*outputs*) de forma a não alterar as entradas (*inputs*). Na orientação para *output*, conforme mostrado na Figura 10, a eficiência da DMU D é dada pela distância MD/MN.

Figura 10- Fronteira CRS com orientação para *output*

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Lins e Meza (2000, p. 34).

Após a apresentação do modelo com retornos constantes de escala (CRS) com orientações para *input* e *output*, na próxima seção será explicitado o modelo com retornos variáveis de escala (BCC - VRS).

2.2.2 Modelo Retorno Variável de Escala (BCC – VRS)

O modelo BCC tem as iniciais dos autores Banker, Charnes e Cooper (1984). É também conhecido como modelo de retornos variáveis de escala (VRS – Variable Returns to Scale), que consiste em uma derivação do modelo CRS. O modelo VRS generaliza o CRS considerando rendimentos de escala constantes, crescentes e decrescentes. Para Banker, Charnes e Cooper (1984), uma DMU não pode ser comparada com todas as DMUs de um determinado setor, e sim com as que operam em escala semelhante a sua. (MARIANO et al., 2006).

Diferente do modelo CRS, no modelo VRS a função produção não é linear, podendo ser dividida em dois tipos de rendimentos de escala na fronteira eficiente. O primeiro tipo seria o modelo com retorno decrescente de escala, no qual um aumento nos *inputs* provoca um aumento proporcionalmente menor nos *outputs*. O segundo tipo seria o modelo com retorno crescente de escala, no qual um aumento nos *outputs* é proporcionalmente maior ao aumento nos *inputs*. (FERREIRA; GOMES, 2009).

Mariano et al. (2006) destacam que a única diferença entre os modelos CRS e VRS está no acréscimo de uma variável “u” no numerador ou então uma variável “v” no

denominador do modelo VRS. As Equações (14), (15) e (16) ilustram a inclusão dessas variáveis no modelo.

$$MAX_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{i0}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{j0}} + u \quad \text{ou} \quad MAX_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{i0}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{j0}} + v \quad (14)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} + u \leq 1 \quad \text{ou} \quad \frac{\sum_{i=1}^m u_i Y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} + v \leq 1 \quad \text{para } k = 1, 2 \dots z \quad (15)$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0$$

$$(16)$$

u e v sem restrição de sinal

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i;

v_j = peso calculado para o *input* j;

x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor;

y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor;

x_{j0} = quantidade do *input* j para unidade em análise;

y_{i0} = quantidade do *output* i para unidade em análise;

u = variável de retorno de escala do numerador;

v = variável de retorno de escala do denominador;

z = número de unidades em avaliação;

m = número de *outputs*;

n = número de *inputs*.

Mariano et al. (2006) indicam que as variáveis u e v têm a função de garantir que as restrições das DMUs que operem em escala diferente da DMU de análise não limitem sua função objetivo. Para Lins e Meza (2000), a inclusão das variáveis u e v define a combinação linear convexa no modelo VRS. Contudo, se o valor de u for maior que zero, a DMU opera com retornos decrescentes à escala; se o valor de u for menor que zero, opera com retornos

crecentes à escala; e se o valor de u for igual à zero, a DMU opera com retornos constantes à escala. (MARIANO et al., 2006).

Do mesmo modo, a variável v também pode ser utilizada para indicar (estimar) o tipo de escala em que uma determinada DMU está operando. Para isso, é necessário que ela seja interpretada de maneira oposta em relação à variável u , sendo: $v > 0$ = retornos crescentes; $v < 0$ = retornos decrescentes; e, por fim, $v = 0$, retornos constantes à escala. Logo, os retornos de escala podem não ser iguais para as duas orientações. (MARIANO et al., 2006).

O processo de linearização do modelo VRS utiliza os mesmos procedimentos do modelo CRS. A convexidade do modelo VRS é gerada por meio da inclusão das variáveis u e v . Para Almeida (2012), o modelo VRS orientado a *input* é representado pelas Equações (17), (18) e (19):

$$MAX = \sum_{i=1}^m u_i Y_{i0} + u \quad (17)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i Y_{jk} + u - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n v_j x_{j0} = 1 \quad (19)$$

u_i e $v_j > 0$; u e v sem restrição de sinal, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i ;

v_j = peso calculado para o *input* j ;

x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor;

y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor;

x_{j0} = quantidade do *input* j para unidade em análise;

y_{i0} = quantidade do *output* i para unidade em análise;

u = variável de retorno de escala do numerador;

v = variável de retorno de escala do denominador;

z = número de unidades em avaliação;

m = número de *outputs*;

n = número de *inputs*.

Almeida (2012) destaca as Equações (20), (21) e (22) para o modelo VRS orientado a *output*.

$$MAX = \sum_{j=1}^n v_j x_{j0} + v \quad (20)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i Y_{jk} - v - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0, \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^m u_i y_{i0} = 1 \quad (22)$$

u_i e $v_j > 0$; u e v sem restrição de sinal, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i ;

v_j = peso calculado para o *input* j ;

x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor;

y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor;

x_{j0} = quantidade do *input* j para unidade em análise;

y_{j0} = quantidade do *output* i para unidade em análise;

u = variável de retorno de escala do numerador;

v = variável de retorno de escala do denominador;

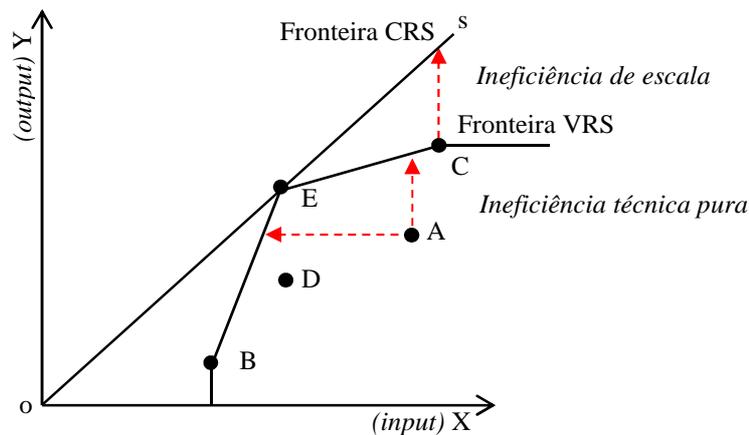
z = número de unidades em avaliação;

m = número de *outputs*;

n = número de *inputs*.

A Figura 11 mostra as respectivas fronteiras CRS e VRS. No modelo VRS, é possível identificar a diferença entre a eficiência técnica e a eficiência de escala. Já no modelo CRS, a indicação de uma eficiência técnica consiste em considerar todas as DMUs operando em uma escala ideal. (LINS; MEZA, 2000).

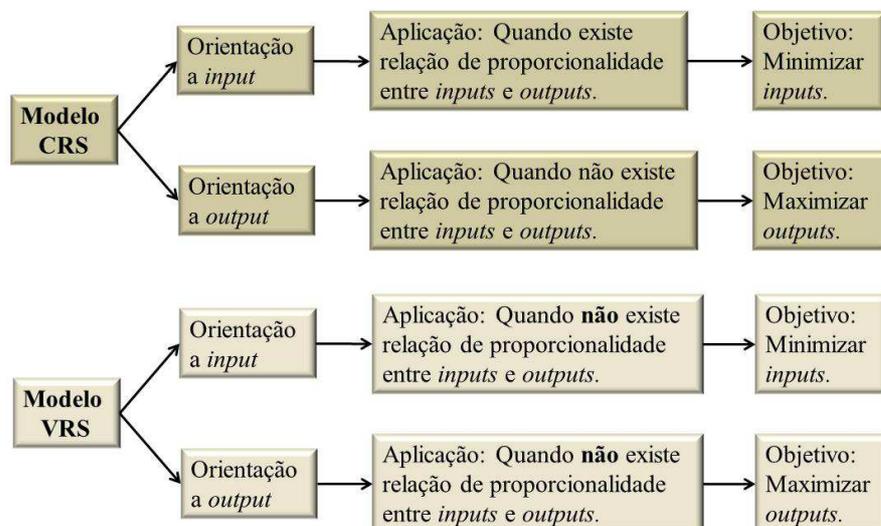
Figura 11 - Relações das fronteiras CRS e VRS



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Lins e Meza (2000, p. 35).

A Figura 12 apresenta, de forma resumida, os principais modelos, orientações, aplicações e objetivos utilizados na Análise Envoltória de Dados.

Figura 12 - Aplicações dos modelos DEA



Elaborado pelo autor a partir de Gilsa (2012, p. 47).

Após a apresentação da Figura 12, na próxima seção serão explanados os conceitos referentes à eficiência e rendimento de escala. Por meio dos rendimentos de escala, será possível identificar as DMUs que operam em escala de produção eficiente e ineficiente.

2.2.3 Eficiência e rendimento de escala

A eficiência de escala consiste em uma unidade ótima de funcionamento, sendo que a redução ou o aumento na escala de produção implica a redução da eficiência. (HAYNES; DINC, 2005). A eficiência de escala é calculada dividindo a eficiência com retornos constantes (CRS) pela eficiência com retornos variáveis (VRS). Quando o quociente dessa Equação chega ao valor um, significa que as eficiências CRS e VRS são iguais.

$$Eficiência\ de\ escala = \frac{Eficiência\ total\ (CRS)}{Eficiência\ técnica\ (VRS)} \quad (23)$$

Quando o quociente da Equação 23 atinge valor igual a um, há indicação de que a DMU está operando em sua máxima escala de produção (MPSS – *Most Productive Scale Size*) ou escala ótima de produção. (FERREIRA; GOMES, 2009). Quando os resultados da eficiência de escala são diferentes de um, Banker, Charnes e Cooper (1984) destacam três tipos de retorno à escala: (i) retornos constantes de escala; (ii) retornos crescentes de escala; e (iii) retornos decrescentes de escala.

Nesse caso, se o somatório dos valores λ das DMUs de maior destaque, ou seja, as DMUs *benchmark*, for maior que um, os retornos de escala serão crescentes. Do mesmo modo, se os valores λ forem menores que um, os retornos de escala serão decrescentes, e se forem iguais a um, os retornos serão constantes¹. O Quadro 8 apresenta um melhor esclarecimento sobre esses três tipos de retorno à escala.

¹ A avaliação do somatório dos scores (λ) foi realizada no aplicativo SIAD v3.0, no modelo CRS orientado a *input*.

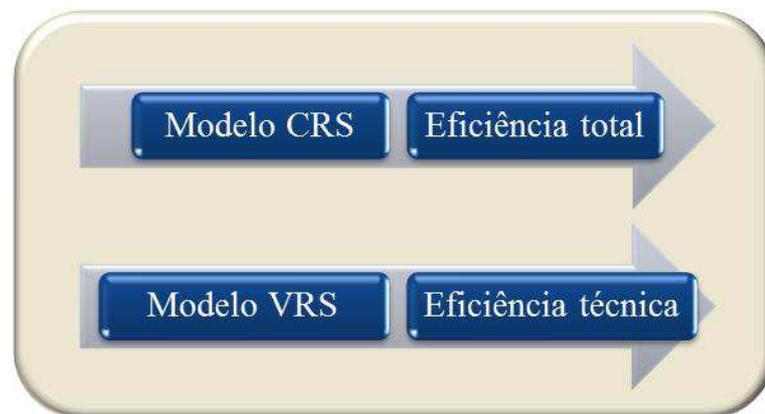
Quadro 8 - Tipos de retorno à escala

Tipo de retorno	Descrição	Equação
(i) Retornos constantes de escala	Nesse caso o aumento do número de <i>inputs</i> gera um aumento proporcional nos <i>outputs</i> , quando uma DMU está operando na sua capacidade ótima.	$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ $\lambda \geq 0 \forall k$ (24)
(ii) Retornos crescentes de escala	Nesse caso o aumento no número de <i>inputs</i> ocasiona um aumento desproporcionalmente maior no número de <i>outputs</i> . Isso ocorre quando uma determinada DMU opera significativamente abaixo da sua capacidade ótima.	$\sum_{k=1}^n \lambda_k > 1$ $\lambda \geq 0 \forall k$ (25)
(iii) Retornos decrescentes de escala	Nesse caso o aumento do número de <i>inputs</i> ocasiona um aumento desproporcionalmente menor no número de <i>outputs</i> se uma DMU está operando acima de sua capacidade ótima.	$\sum_{k=1}^n \lambda_k < 1$ $\lambda \geq 0 \forall k$ (26)

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de Mariano et al. (2006).

Fare, Grosskopf e Lovell (1994) explicam que a principal causa da ineficiência de uma determinada DMU normalmente está associada à escala de produção, à ineficiência técnica ou à ineficiência operacional. Segundo Mariano et al. (2006), devido à diferença entre o tipo de retorno de escala, os modelos CRS e VRS calculam tipos distintos de eficiência. A Figura 13 mostra esses diferentes tipos de cálculo de eficiência na Análise Envoltória de Dados.

Figura 13 - Correspondência dos modelos matemáticos e o tipo de eficiência calculada



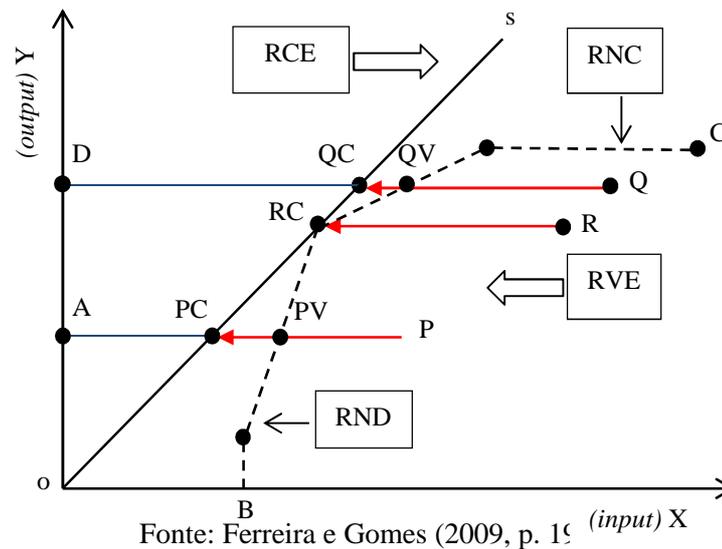
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Mariano et al. (2006, p. 6).

O cálculo da eficiência total compara uma determinada DMU com o universo de todas as suas concorrentes. Para o cômputo da eficiência técnica, a comparação de uma DMU é realizada somente com aquelas DMUs que operam em uma escala semelhante a sua. Nesse caso, a eficiência técnica pode ser entendida como um componente da eficiência total. O outro componente seria a eficiência de escala, que depende da condição da empresa

de estar produzindo abaixo ou acima de sua escala ótima de produção. (MARIANO et al., 2006).

Ferreira e Gomes (2009) apresentam, na Figura 14, a ilustração dos conceitos de eficiência técnica e de eficiência de escala. No Quadro 9, são descritas as possíveis combinações de insumo e produto das DMUs nos modelos DEA. Essas duas abordagens contribuem para o esclarecimento referente aos conceitos de eficiência técnica e de eficiência de escala, sendo que as siglas significam: RCE (Rendimentos Constantes de Escala); RNC (Rendimentos Não Crescentes); RVE (Rendimentos Variáveis de Escala); e RND (Rendimentos Não Decrescentes).

Figura 14 - Eficiência técnica e eficiência de escala



Quadro 9 - Combinações possíveis de insumo e produto das DMUs nos modelos DEA, pressupondo-se rendimentos constantes e variáveis

Tipo de retorno	Condição da DMU segundo a pura eficiência técnica	
	Eficiente	Ineficiente
Constante	Trata-se da melhor situação. A DMU utiliza os recursos sem desperdício e opera em escala ótima. O aumento da produção deve ocorrer mantendo-se a proporção de uso dos fatores, e os aumentos de custos são proporcionais aos aumentos de produção. (correspondente ao ponto (RC), na Figura 14).	Apesar de estar operando na escala ótima, existe ineficiência técnica. Isso significa que se pode reduzir o uso dos insumos e continuar produzindo a mesma quantidade (orientação insumo). De maneira equivalente, a produção pode crescer utilizando-se os mesmos insumos (orientação produto). Ao eliminar as ineficiências técnicas, a DMU torna-se eficiente, com retornos constantes. (corresponde ao ponto (R), na Figura 14)
Crescente	Apesar de tecnicamente eficiente, não existem insumos utilizados em excesso e o volume de produção está abaixo da escala ótima. Isso significa que a DMU pode aumentar a produção a custos decrescentes. Assim, o aumento da produção deve ocorrer mediante incorporação de insumos, porém mantendo-se as relações entre as quantidades de produtos e os insumos. (corresponde ao ponto (PV), na Figura 14).	Nessa situação, existem dois problemas: ineficiência técnica, devido ao uso excessivo de insumos, e eficiência de escala. Essa última ocorre porque a DMU está operando abaixo da escala ótima. Para aumentar a eficiência técnica, devem-se eliminar os excessos de uso de insumos. Para operar em escala ótima, é necessário aumentar a produção. Em síntese, a DMU deve aumentar a produção, porém esse aumento deve ocorrer a fim de que as relações entre quantidades utilizadas de insumo e volume de produção sejam reduzidas. (corresponde ao ponto (P), na Figura 14).
Decrescente	DMU tecnicamente eficiente, porém operando acima da escala ótima. Uma alternativa é reduzir o volume de produção da DMU, mantendo-se a mesma relação entre insumos e produtos. Uma vez que não há ineficiência técnica, a superutilização da planta poderá ser vantajosa. Uma alternativa para aumentar a produção seria a adoção de políticas quantitativas, pois o aumento da produtividade dos fatores possibilitaria o crescimento da produção sem necessidade de utilizar mais insumos. O fato é que, nessa situação, o aumento da produção dar-se-á a custos crescentes. (corresponde ao ponto (QV), na Figura 14).	Nesse caso, a DMU está operando acima da escala ótima e tem ineficiência técnica. É preciso corrigir os dois problemas. Para aumentar a eficiência técnica, devem-se eliminar os excessos de utilização de insumos, o que equivale a produzir mais com os mesmos insumos. Com relação à escala, pode-se reduzir a produção em cada DMU ou utilizar um número maior de DMUs menores para produzir a mesma quantidade anterior. Isso dependerá das condições objetivas de mercado, da competitividade e da estrutura do setor. Pode-se, ainda, melhorar a tecnologia aumentando a produtividade dos fatores de produção ou insumos. (corresponde ao ponto (Q), na Figura 14).

Fonte: Ferreira e Gomes (2009, p. 202).

Após a apresentação da eficiência e do rendimento de escala, serão abordados os conceitos referentes a alvos e valores referenciais para as DMUs. Os alvos são os valores que permitem tornar uma DMU ineficiente em uma DMU eficiente.

2.2.4 Alvos

Os alvos são os valores utilizados na Análise Envoltória de Dados referentes às entradas ou saídas de uma determinada DMU, que permitem tornar uma DMU ineficiente em uma DMU eficiente. Nesse caso, os valores alvo elevariam a eficiência da DMU ao valor um. Para calcular o alvo para uma determinada DMU é necessário realizar o produto da posição atual de um insumo pelo valor (λ) pertencente às DMUs de referência (*benchmarking*). (HAYNES; DINC, 2005).

$$Alvo = \sum_{k=1}^n x_{ik}\lambda_k \quad (27)$$

Na próxima seção, serão apresentadas as principais vantagens e limitações dos modelos DEA. Além disso, também serão discutidos os principais riscos e as recomendações a serem seguidas durante a utilização de tais modelos.

2.2.5 Vantagens e limitações

Dentre as principais vantagens da Análise Envoltória de Dados estão: não necessidade de conversão de *inputs* e *outputs* em unidades monetárias, sendo possível utilizar variáveis imensuráveis monetariamente; índices de eficiência baseados em dados reais e não em fórmulas teóricas; facilidade para incorporar novos *inputs* e *outputs* ao modelo existente; atuação como complemento aos métodos de análise de tendência central (paramétricos); não necessidade de conhecer a função produção ou a maneira como são transformados *inputs* e *outputs*; facilidade na identificação das unidades de análise (DMUs) de melhor eficiência que sirvam de *benchmarking* para as menos eficientes; possibilidade de verificar desvios de cada *input* e *output* da DMU de referência, *benchmarking*; utilização simultânea de múltiplos produtos e insumos com diferentes unidades de medida. (LINS; MEZA, 2000).

As principais limitações encontradas na Análise Envoltória de Dados estão relacionadas com a medida com que o número de variáveis vai aumentando (*inputs* e *outputs*) em um determinado grupo de DMUs. Esse efeito aumenta a possibilidade de mais DMUs chegarem ao desempenho máximo, ou seja, à fronteira eficiente. Isso reduz o poder de discriminação das unidades de análise. Outro aspecto importante está no fato de a Análise Envoltória de Dados ser uma técnica não paramétrica, motivo pelo qual é difícil formular

hipóteses estatísticas. Sua característica de medição de desempenho relativo também constitui uma limitação. A técnica em questão verifica unicamente o desempenho relativo das unidades de análise, o que favorece uma convergência muito lenta ao desempenho absoluto. Tal fato ocorre porque a Análise Envoltória de Dados está baseada em dados observados e não no ótimo. (DYSON et al., 2001).

Barreto e Mello (2012) também destacam que os modelos clássicos da Análise Envoltória de Dados são benevolentes na avaliação das DMUs. Essa limitação acaba gerando um número elevado de DMUs 100% eficientes, favorecendo a redução da discriminação entre elas. Para solução do problema de discriminação das DMUs eficientes, “empatadas em 100% de eficiência”, Yamada, Matui e Sugiyama (1994) propõem o cálculo da fronteira invertida. A fronteira invertida é utilizada juntamente com a fronteira padrão para formar a eficiência composta (tal conceito será abordado com maiores detalhes na seção seguinte). Através do uso da fronteira composta é possível aumentar o poder de discriminação das DMUs “empatadas”.

Ferreira e Gomes (2009) e Nunamaker (1985), alertam que o número de DMUs deve ser no mínimo três vezes maior do que a soma dos *inputs* e *outputs* (variáveis do modelo). Lins e Meza (2000) recomendam que o número deve ser no mínimo o dobro do total de variáveis do modelo. Essa abordagem tem o objetivo de garantir o poder discriminatório entre as unidades de análise (DMUs). Outra limitação da Análise Envoltória de Dados diz respeito ao fato de ela ser um problema de programação linear. Essa característica pode apresentar mais de uma solução ótima no modelo. Barreto e Mello (2012) também chamam atenção para o aumento do tamanho da amostragem de DMUs. No que diz respeito a esse aspecto, existe uma tendência de se reduzir a média dos *scores* de eficiência da amostra em função do maior número de DMUs (da amostragem) induzir a um número maior de DMUs na fronteira da eficiência. Contudo, com um número reduzido de DMUs em relação às variáveis do modelo, a média de eficiência da amostra tende a aumentar. (BARRETO; MELLO, 2012).

Segundo Coelli, Rao e Battese (1997), Seiford e Thrall (1990), Paiva Júnior (2000) e Azambuja (2002), as principais limitações e possíveis problemas que podem ser encontrados na Análise Envoltória de Dados são:

- a) com o aumento do número de variáveis, ocorre a redução da habilidade de discriminação;
- b) existe risco referente às decisões tomadas pelos especialistas *experts*;

- c) a inclusão de uma unidade extra em uma análise não pode resultar no aumento dos *scores* de eficiência técnica das unidades já estabelecidas. No entanto, pode resultar em aumento de ineficiência de todas as demais unidades envolvidas na análise;
- d) a exclusão de um *input* ou *output* relevante pode determinar resultados viesados.

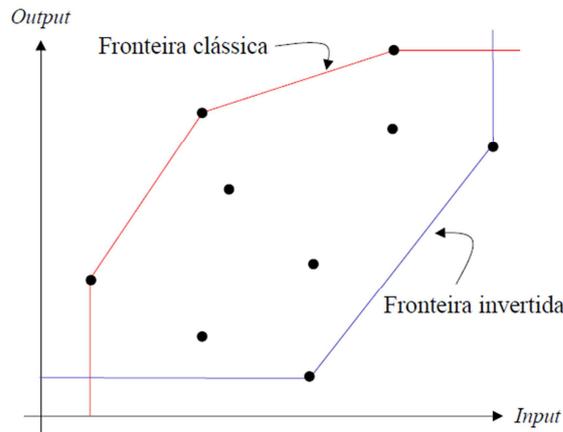
Além das limitações citadas acima, os resultados obtidos na Análise Envoltória de Dados dependem basicamente da construção do modelo conceitual. Com base nos conceitos relacionados à modelagem em ciências administrativas, Pidd (1998) afirma que um modelo conceitual que não representa a realidade compromete a validação dos resultados. Na próxima seção, serão abordados os conceitos de fronteira invertida e eficiência composta. Essas definições contribuirão para um melhor entendimento das abordagens referentes à discriminação das DMUs na Análise Envoltória de Dados.

2.2.6 Fronteira invertida e eficiência composta

Segundo Barreto e Mello (2012), os modelos clássicos da Análise Envoltória de Dados são, em certa medida, benevolentes na avaliação das DMUs. Tal característica tem como resultado o frequente “empate” de DMUs com eficiência em 100%, o que dificulta a discriminação entre elas. Yamada, Matui e Sugiyama (1994) propõem o uso da fronteira invertida como uma ferramenta para auxiliar o poder discriminatório das DMUs empatadas em 100%. A fronteira invertida é constituída pelas unidades ineficientes, ou seja, pelas DMUs de pior desempenho. A avaliação da fronteira invertida permite auxiliar na identificação da prática que não deve ser realizada servindo, também, como uma referência ou *benchmarking* negativo.

Soares de Mello et al. (2005) reforçam que a fronteira invertida constitui uma avaliação pessimista das DMUs. Contudo, ela também é entendida como aquela formada pelas DMUs com as piores práticas gerenciais. Nesse sentido, pode ser considerada como a fronteira em que as DMUs possuem as melhores práticas sob uma ótica oposta. (SOARES DE MELLO et al., 2005). A Figura 15 apresenta, de forma comparativa, a fronteira invertida com a fronteira clássica de retornos variáveis de escala (VRS).

Figura 15 – Fronteira DEA VRS clássica e invertida



Fonte: Soares de Mello et al. (2005, p. 2539).

Barreto e Mello (2012) apontam o uso da fronteira invertida na composição de um índice agregado de eficiência composta (Eff_c) que, nesse caso, teria a finalidade de verificar a discriminação das DMUs empatadas. Os autores apresentam o índice de eficiência agregado na Equação 28. Tal índice constitui a média aritmética entre a eficiência padrão e a eficiência invertida. Essa abordagem mostra que, para uma DMU ter sua máxima eficiência composta, é necessário que ela tenha um bom desempenho na fronteira padrão e não tenha um bom desempenho na fronteira invertida. Quanto maior for a fronteira invertida, pior será a eficiência.

$$Eff_c = \frac{[Eff_p + (1 - Eff_i)]}{2}$$

(28)

Onde:

Eff_c = Eficiência composta

Eff_p = Eficiência padrão

Eff_i = Eficiência invertida

Existem no mercado diversas ferramentas para auxílio na resolução dos problemas que envolvem a Análise Envoltória de Dados. Entre elas, estão os principais *softwares* disponíveis no mercado. Na Tabela 1, estão apresentados os *links* com esses principais *softwares*.

Tabela 1 - *Softwares* para solução dos modelos de Análise Envoltória de Dados.

Softwares	Condição	Informações
EMS 1.3	Livre	www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems/
DEAP 2.1	Livre	www.une.edu.au/econometrics/cepa.htm
SIAD v2.0	Livre	www.uff.br/decisao
SAED v1.0	Livre	www.mat.ufpr.br/~volmir/DEA.html
IDEAL	Livre	www.coppe.ufrj.br
ON-FRONT	Comercial	www.emq.com/software.html
Frontier Analyst	Comercial	www.banxia.com
IDEAS	Comercial	www.ideas2000.com
DEA Solver	Comercial	www.saitech-inc.com
DEA Excel Solver	Comercial	www.deafrontier.com
Warwick	Comercial	www.warwick.ac.uk/
DEA Frontier	Comercial	www.deafrontier.com
Pioneer	Comercial	barn@seas.smu.edu
Byu-DEA	Comercial	larry@msml.byu.edu
DEA_xl	Comercial	www.po.ufrj.br/dea/downloads/Downloads.html
PIMsoft	Comercial	www.deasoftware.co.uk

Fonte: Ferreira e Gomes (2009, p. 155).

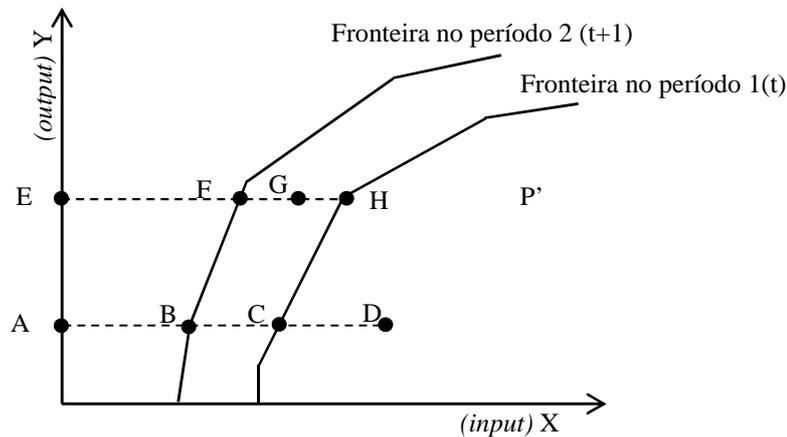
Após a apresentação de conceitos e definições referentes à fronteira invertida e à eficiência composta, serão explanadas na seção seguinte, algumas considerações referentes ao deslocamento da fronteira eficiente.

2.2.7 Deslocamento da Fronteira Eficiente

Ferreira e Gomes (2009) destacam que o aumento da produtividade de uma DMU pode ser obtido através das inovações tecnológicas. A introdução de novas tecnologias que possibilitam a produção com a melhor utilização dos insumos promove, nesse caso, o deslocamento da fronteira eficiente. Como conceito de fronteira eficiente, Haynes e Dinc (2005) indicam que é aquela representada pela posição de melhor desempenho de uma determinada DMU. Esta seria composta por um conjunto de dados mais eficientes no processo de transformação dos *inputs* em *outputs*. As unidades que determinam a fronteira eficiente são aquelas classificadas como sendo 100% eficientes, geralmente com um valor igual a 1. No entanto, para qualquer DMU que se encontre fora da fronteira eficiente, a eficiência será menor que 100%, ou seja, menor que 1. A Figura 16 indica o deslocamento da fronteira eficiente, representada por dois períodos distintos, e o efeito emparelhamento (*catch-up*). A fronteira no período 2 indica uma mudança de patamar na eficiência produtiva da

empresa. Esse deslocamento da fronteira eficiente pode ser obtido principalmente por melhorias no processo produtivo ou por mudança tecnológica.

Figura 16 - Emparelhamento (*catch-up*) e progresso técnico (*frontier-shift*)



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Ferreira e Gomes (2009, p. 278).

Ferreira e Gomes (2009) apontam os efeitos de emparelhamento (*catch-up effect*) da fronteira eficiente. Estes consideram a comparação entre a eficiência técnica em dois períodos de tempo. No âmbito dos estudos voltados à competitividade, esse tipo de análise comparativa é importante para verificação do aumento da eficiência técnica ao longo do tempo. (FERREIRA; GOMES, 2009). Utilizando a Análise Envoltória de Dados com orientação a insumo, com um insumo e um produto, conforme indicado na Figura 16, o emparelhamento pode ser representado conforme a expressão:

$$\text{Emparelhamento} = \frac{\theta_0^t(x_0^t, y_0^t)}{\theta_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}, \text{ onde:} \quad (29)$$

$\theta_0^t(x_0^t, y_0^t)$ = eficiência técnica da DMU k objetivo ($k = 0$) no período de tempo t ;

$\theta_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$ = eficiência técnica da DMU k objetivo ($k = 0$) no período de tempo $t + 1$.

Logo, o emparelhamento também pode ser representado, com base na Figura 16, da seguinte maneira:

$$\text{Emparelhamento} = \frac{\frac{AC}{AD}}{\frac{EF}{EG}} \quad (30)$$

Segundo Ferreira e Gomes (2009), quando o resultado do emparelhamento for > 1 , há indicação de que a eficiência técnica entre os períodos P1 e P2 melhorou; no entanto, se o resultado for $= 1$, significa que a eficiência técnica permaneceu a mesma; caso o resultado seja < 1 , significa que a eficiência técnica piorou. Logo, o efeito de emparelhamento é determinado pelos valores de eficiência técnica² obtidos pela medida das distâncias das DMUs em relação a suas fronteiras eficientes. Conforme indicado na Figura 16, o deslocamento da fronteira eficiente é indicado, por exemplo, pela mudança nas posições do ponto C no período 1 para o ponto B no período 2. O mesmo acontece com o ponto H no período 1, para o ponto F no período 2. (FERREIRA; GOMES, 2009). Essa medida de deslocamento da fronteira eficiente, com base na eficiência técnica, corresponde às razões dos segmentos de reta, conforme θ_1 e θ_2 :

$$\theta_1 = AB/AC = (AE/AD)/(AC/AD); \theta_2 = EF/EH = (EF/EG)/(EH/EG) \quad (31)$$

Nessa avaliação, Ferreira e Gomes (2009) apontam que θ_1 e θ_2 indicam o efeito do deslocamento da fronteira (*frontier-shift effect*) com base na média geométrica. Logo, o efeito do deslocamento da fronteira eficiente pode ser estabelecido pela seguinte Expressão:

$$\varphi = \sqrt{\theta_1 \theta_2} \quad (32)$$

Onde:

$\varphi < 1$: representa progresso tecnológico

$\varphi = 1$: indica que não houve progresso tecnológico

$\varphi > 1$: representa regressão tecnológica

² A eficiência técnica é um conceito relativo que compara o que foi produzido por unidade de insumo utilizado com o que poderia ser produzido. (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 24).

No entanto, Ferreira e Gomes (2009) afirmam que se for considerada a Análise Envoltória de Dados com rendimentos constantes de escala com orientação para *output*, tais relações serão invertidas, de modo que:

$\varphi > 1$: representa progresso tecnológico

$\varphi = 1$: permanece

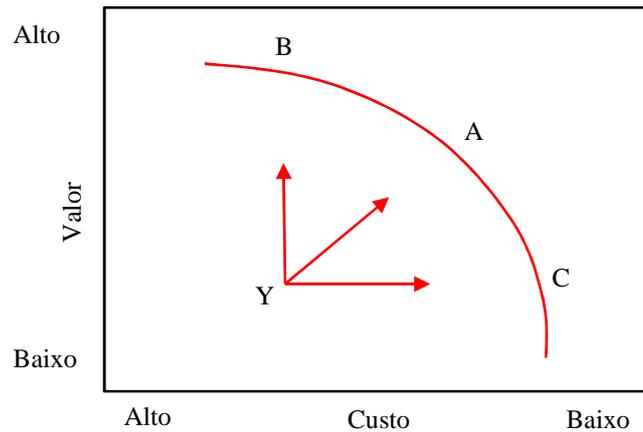
$\varphi < 1$: representa regressão tecnológica

Em relação ao deslocamento da fronteira eficiente, existe um aspecto interessante a se observar a respeito das proposições de Porter (1999) para a estratégia competitiva. O autor alerta que a eficácia operacional não pode ser considerada uma estratégia. O aumento da eficácia operacional tem sido uma prática comum em muitas organizações que buscam garantir ou conquistar novas posições e vantagens competitivas no mercado. Nesse contexto, Porter (1999) destaca que as empresas acabam usufruindo por pouco tempo dessa vantagem, pois são facilmente copiadas pela concorrência, tendo como consequência uma condição destrutiva de competição.

Como principal causa da condição destrutiva de competição entre as empresas está a incapacidade de distinguir eficácia operacional de estratégia. A estratégia e a eficácia operacional são essenciais para o desempenho superior das organizações. No entanto, uma empresa só consegue superar em desempenho seus concorrentes se tiver capacidade de estabelecer uma diferença preservável ao longo do tempo. Entretanto, a empresa precisa gerar maior valor aos seus clientes ou um valor compatível com custo mais baixo, ou, ainda, ambos. (PORTER, 1999). Um bom exemplo que sustenta esse argumento é o caso do Japão na década de 80. O país estava à frente de seus rivais e em condições de oferecer produtos com menor custo e qualidade superior.

A Figura 17 indica a distinção entre eficácia operacional e estratégia. Hexsel e Henkin (2003) destacam que a curva da fronteira da produtividade consiste na combinação das atividades de melhores práticas em termos de eficácia operacional. Com base nessa análise, a performance da empresa é aumentada por investimentos ou melhoria das técnicas gerenciais. A curva da fronteira da produtividade se desloca para cima, indicando um novo patamar para a empresa. (HEXSEL; HENKIN, 2003).

Figura 17 - A fronteira da produtividade



Fonte: Figura adaptada de Porter (1999, p. 48).

Conforme indicado na Figura 17, as empresas que operam abaixo da curva da fronteira da produtividade são consideradas ineficientes. A referida figura indica três possíveis caminhos que uma empresa poderia seguir para atingir a curva da fronteira da produtividade: (i) manter os mesmos custos e aumentar o valor; (ii) manter a posição de valor e reduzir os custos; e (iii) reduzir os custos e, ao mesmo tempo, aumentar o valor. Empresas que estão abaixo da curva têm a possibilidade de melhorar sua posição competitiva aumentando a sua eficácia operacional. (HEXSEL; HENKIN, 2003).

Logo, fica evidente que a fronteira da produtividade é a posição em que as melhores práticas seriam utilizadas, como um valor máximo, a partir do qual a empresa usaria da melhor forma possível seus recursos produtivos e tecnologias. Normalmente a fronteira da produtividade se movimenta de forma contínua para fora com a utilização de uma nova tecnologia ou de novo sistema operacional e gerencial. O aprimoramento da eficácia operacional é necessário para o atingimento de uma rentabilidade superior nas organizações. No entanto, essa melhoria, tratada de forma isolada, se torna insuficiente, pois cada vez mais as empresas têm a tendência de se assemelharem entre si, seja por *benchmarking*, por tecnologias similares ou pela propagação das consultorias. O resultado desse processo é uma competição de soma zero, com preços sem reajuste ou em declínio, comprometendo a realização de investimentos de longo prazo dessas empresas. (PORTER, 1999). Como medida para reverter esse quadro, é necessário que a organização busque a diferenciação e foque a estratégia na exclusividade das atividades, proporcionando um mix único de valor aos clientes. (PORTER, 1999; HEXSEL, HENKIN, 2003).

Na próxima seção serão contextualizados os principais conceitos e aplicações dos estudos referentes à melhoria contínua, eficiência e volume de produção. Essa apresentação pretende dar ênfase e esclarecer os principais atributos que envolvem e motivam a realização de um estudo com abordagens voltadas à melhoria contínua e à eficiência produtiva. Inicialmente, serão apresentados os principais conceitos de melhoria contínua, seguidos pelos principais tipos e aplicações.

2.3 FERRAMENTAS DA MELHORIA CONTÍNUA

Os programas de melhoria contínua fazem parte das organizações há muitas décadas. Schroeder e Robinson (1991) fornecem o contexto histórico dos programas de melhoria contínua realizados no Japão e nos EUA. Esses autores identificam o primeiro programa desse tipo, realizado em Dayton, Ohio, EUA, em 1894. Segundo Jha, Noori e Michela (1996), tal programa tinha várias características similares aos programas utilizados nas indústrias modernas, incluindo, por exemplo: melhoria das condições de trabalho, ergonomia, incentivo a sugestões, desenvolvimento de funcionários por meio de oportunidades educacionais entre outros. Originalmente, o conceito de melhoria contínua foi levado para o Japão, pelos EUA, após a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de ajudar na reconstrução da indústria japonesa (SCHROEDER; ROBINSON, 1991).

Schroeder e Robinson (1991) também descrevem um programa realizado durante a Segunda Guerra Mundial que obteve grande sucesso no Japão. O projeto tinha como objetivo a formação dentro das indústrias. O programa foi utilizado no Japão, no final de 1940, com a ocupação militar dos EUA. O objetivo era reconstruir a indústria japonesa no menor tempo possível, sem grandes investimentos de capital, impedindo a propagação da fome e das condições precárias da população. (JHA; NOORI; MICHELA, 1996).

Logo após o fim da Guerra, grande parte das empresas japonesas teve que iniciar as operações do zero. Durante o período de reconstrução, novos desafios eram apresentados diariamente, tanto para a alta gestão, como para os operários. Manter o negócio operando durante a crise exigia progresso e, assim, o processo de melhoria contínua foi utilizado como um meio de vida para todas as pessoas. (IMAI, 1992).

Imai (1992) apresenta o conceito de melhoria contínua *Kaizen*. O *Kaizen* significa melhoramento contínuo. Essa concepção adquire popularidade no Japão como um investimento de baixo valor financeiro e um método comprovado para aumentar a qualidade e produtividade. O choque da crise do petróleo, em 1973, deu novo impulso aos programas de

melhoria contínua na indústria japonesa. (JHA; NOORI; MICHELA, 1996). A crise, seguida de recessão, afetou governos, empresas e a sociedade no mundo inteiro. Em 1974, a economia japonesa havia caído para um nível baixo de crescimento, gerando problemas para muitas empresas. No entanto, ao longo de 15 anos após a Segunda Guerra Mundial, o Japão vivenciou um crescimento econômico com rapidez incomum. (OHNO, 1997).

A melhoria contínua tem suas origens em duas principais tendências históricas. A primeira teve origem na Toyota, onde Tiichi Ohno e Shigeo Shingo desenvolveram a produção *just-in-time* (JIT), também conhecida como Sistema Toyota de Produção (STP). Esse sistema deu início a uma revolução na produção em larga escala na indústria automotiva no Japão, com magnitude semelhante à geração anterior de Henry Ford. O sistema JIT é uma metodologia baseada em disciplina e organização que proporcionou significativo aumento de eficiência no processo produtivo japonês. (ZANGWILL; KANTOR, 1998).

A segunda origem da melhoria contínua está na qualidade. O pioneiro foi Shewhart (1920). Em 1950, palestras de W. Edwards Deming para executivos japoneses destacaram a importância da coleta de dados e do uso do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Singh e Singh (2012) destacam que a origem do ciclo PDCA ou ciclo de Deming foram os trabalhos de Shewhart, na década de 1920. Este introduziu, inicialmente, o conceito de Planejar, Fazer e Ver. Mais tarde, Deming modificou o ciclo para: Planejar, Fazer, Verificar e Agir. O ciclo de Deming representa o modelo de melhoria contínua da qualidade (CQI) constituído a partir de uma sequência lógica dessas quatro etapas repetitivas para melhoria contínua e aprendizado: Planejar, Fazer, Verificar e Agir.

O ciclo PDCA também é conhecido como o ciclo de Deming. Esse ciclo, na primeira fase (Planejar), tem o objetivo de planejar para a mudança, analisando e prevendo os resultados. Na segunda fase (Fazer), o plano é executado com pequenos passos em circunstâncias controladas. Na terceira fase (Verificar), os resultados são checados e avaliados. Finalmente, na quarta fase (Agir), a organização toma medidas para melhorar o processo. Tais conceitos formam a base do ciclo virtuoso da melhoria contínua. (SINGH; SINGH, 2012). A Figura 18 ilustra o ciclo PDCA e suas quatro etapas.

Figura 18 – O Ciclo PDCA



Fonte: Adaptado de Dennis (2007)

Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) destacam que a ideia de melhoria contínua está associada à capacidade de resolução de problemas através de pequenos passos, alta frequência e ciclos curtos de mudança. Shiba, Graham e Walden (1997) destacam que o ciclo PDCA pode ser entendido como um método que permite que esforços sistemáticos e iterativos de melhoria sejam levados a cabo. Para Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) existem basicamente, no ciclo de PDCA, três estratégias de melhoria contínua: manutenção da performance atual, melhoramento incremental dos processos existentes e transformação ou mudança dos processos.

Savolainen (1999) destaca que a implementação dessas estratégias pode conduzir a resultados diferentes em cada tipo de organização em função das forças ambientais que agem em cada uma de forma singular. Além disso, cada empresa adota um estilo gerencial diferente. Logo, a melhoria contínua pode ser entendida como um processo de renovação empresarial que ocorre com velocidade e intensidade diferentes em cada organização (SAVOLAINEN, 1999). Para Bessant, Caffyn e Gallagher (2001), o desenvolvimento da melhoria é alcançado através de um processo lento e gradual de aprendizagem organizacional.

Outro aspecto importante diz respeito ao princípio da melhoria contínua de produtos e processos na Gestão da Qualidade Total (TQM). Essa abordagem visa às expectativas dos clientes continuamente em relação à qualidade, ao custo, à entrega e ao serviço. (ISHIKAWA, 1993). Campos (1992) define a Gestão da Qualidade Total (TQM) como uma filosofia de administração com foco no cliente, utilizando a melhoria contínua como um dos princípios para obter vantagem competitiva sobre a concorrência. A Gestão da Qualidade Total (TQM)

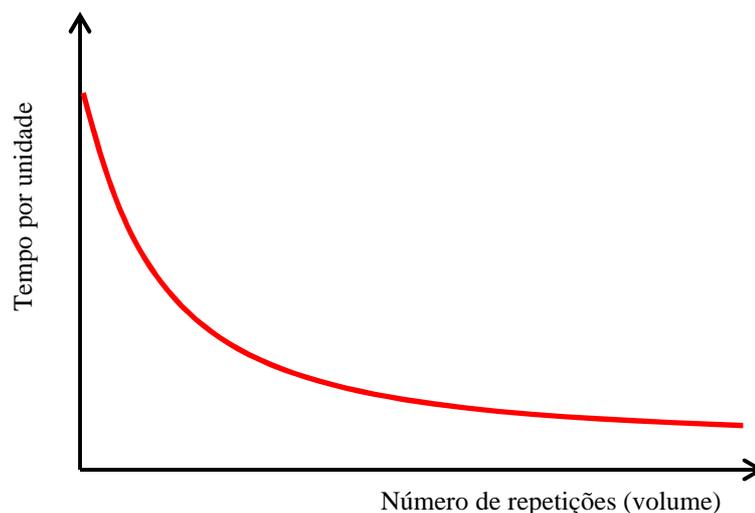
promove uma cultura organizacional capaz de buscar constantemente a satisfação do cliente por meio de um sistema integrado de ferramentas, técnicas e treinamentos. Além disso, o TQM envolve a melhoria contínua dos processos organizacionais, resultando em produtos e serviços de alta qualidade e competitividade. (SASHKIN; KISER, 1994). O tema apresentado na próxima seção realiza uma abordagem de aspectos voltados à melhoria contínua e à curva de aprendizado.

2.3.1 Melhoria contínua e curva de aprendizado

O primeiro estudo sobre a curva de aprendizado (*Learning Curves*) foi proposto por Wright (1936) por meio de observações realizadas durante a montagem de aviões. No modelo de Wright, o tempo de execução da tarefa é reduzido para níveis mínimos quando o número de repetições aumenta. Nesse sentido, surge o modelo das curvas de aprendizado. Tais curvas são baseadas na premissa de que as pessoas e as organizações melhoram continuamente suas tarefas quando estas são repetidas. (STROIEKE; FOGLIATTO; ANZANELLO, 2013).

Wright (1936) observou que o custo da mão de obra direta necessária para fabricar um avião particular diminuiu com a aprendizagem. O Gráfico 2 apresenta a curva de aprendizagem que exibe a relação entre tempo por unidade e número de repetições. A partir desse Gráfico, é possível observar que o tempo necessário para produzir uma unidade diminui à medida que o número de repetições aumenta. O Gráfico em questão geralmente segue uma curva exponencial negativa.

Gráfico 2 – Gráfico da curva de aprendizagem segundo modelo de Wright



Fonte: Adaptado de Jaber e Bonney (1999, p. 94).

Segundo Zangwill e Kantor (1998), a curva de aprendizagem constitui o antecessor histórico do processo de melhoria contínua. Ela monitora e prevê melhoria com base em uma abordagem quantitativa. Além disso, contribui com uma relação matemática entre algumas métricas de desempenho e medida, tais como o custo, a qualidade ou o tempo de ciclo para produção de um determinado item.

Jaber e Bonney (1999) também destacam que o processo de aprendizagem sugere que o desempenho de uma pessoa ou de uma organização envolvida em uma tarefa repetitiva melhora com o tempo. Essa melhoria resulta na diminuição do custo do produto, do tempo de fabricação e, conseqüentemente, representa significativo impacto na redução de inventário. Dentre os fatores que contribuem para a melhora estão: a utilização mais efetiva das máquinas e ferramentas e o aumento da familiaridade dos funcionários com a execução das tarefas e com o ambiente de trabalho.

Para Zangwill e Kantor (1998), a curva de aprendizagem muitas vezes segue alguma forma padrão ou uma determinada lei. Esse padrão muitas vezes não tem parâmetros que representam fielmente as políticas e os procedimentos de gestão. Franceschini e Galetto (2003) afirmam que as curvas de aprendizado são empregadas para descrever a evolução, ao longo do tempo, de muitos processos de negócios, como: custos operacionais, não qualidade, tempo de entrega, tempo de espera, tempo de ciclo de produção e nível de defeitos no processo.

Nesse sentido, organizações utilizam as curvas de aprendizado para promover a eliminação de problemas, para aumentar a taxa de melhoria e a previsão do comportamento dos processos. As curvas também são úteis para estimar os custos referentes ao trabalho de um determinado processo produtivo quando este incorpora um novo produto. (FRANCESCHINI; GALETTO, 2003).

Levy (1965) e Li e Rajagopalan (1997) apresentaram estudos associando o efeito do aprendizado ao aumento de desempenho quando um novo processo é introduzido. Esses estudos revelaram que a experiência adquirida através do tempo possibilita à empresa produzir mais unidades num determinado intervalo de tempo, reduzindo custos de produção devido à diminuição do tempo de funcionamento dos equipamentos e de custos relativos a materiais. (STROIEKE; FOGLIATTO; ANZANELLO, 2013).

Yelle (1979) explica que operadores novos ou não qualificados que executam uma tarefa pela primeira vez não podem obter um desempenho ideal sem antes ter realizado o trabalho durante certo período de tempo ou certo número de ciclos. A experiência permite ao operador uma familiarização com os movimentos necessários. Contudo, tal experiência é

essencial para aumentar a produtividade do trabalhador e para que ele atinja o tempo padrão estabelecido para a execução do trabalho. Stroeike, Fogliatto e Anzanello (2013) indicam que as pesquisas envolvendo curvas de aprendizado têm como objetivo aumentar a qualidade da produção pela otimização do desempenho dos processos, melhorando a utilização dos recursos e reduzindo custos de processamento. Na próxima seção, serão apresentados os principais medidores utilizados na avaliação dos programas de melhoria contínua.

2.3.2 Medidores de desempenho de programas de melhoria contínua

A medição de desempenho consiste em quantificar ou qualificar o desempenho de um produto ou processo de uma organização. (CARPINETTI, 2000). Para Silva e Araújo (2006), medir o desempenho e tomar decisões com base nessas informações são atividades importantes de um sistema de gestão. Para Bond (1999), a medição do desempenho nos programas de melhoria contínua ajuda a detectar o que está acontecendo na empresa. Logo, esta abordagem contribui para identificar as razões prováveis que configuram a situação atual e quais as ações a serem tomadas. O Quadro 10 apresenta os principais Ganhos de desempenho relativos à implantação de programas de melhoria contínua aplicados na indústria.

Quadro 10 - Benefícios de programas de melhoria contínua estruturados na indústria

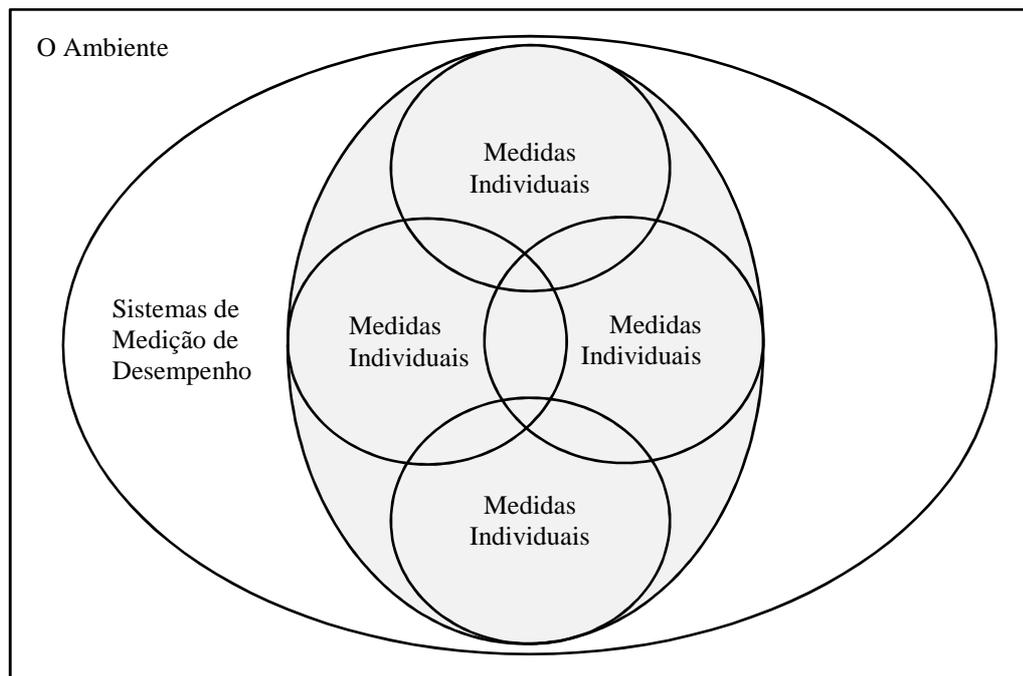
Benefícios para a empresa	Fonte
Redução da variabilidade nos processos	Antony et al. (2005)
Aumento da lucratividade	Antony et al. (2005)
Redução do custo de mercadorias vendidas	Antony et al. (2005)
Redução de desperdício e retrabalho	Terziovski e Sohal (2000)
	Henson et al. (1999)
	Keller (2001)
Aumento da produtividade	Antony et al. (2005)
Redução de <i>set-up</i> , tempo de ciclo e tempo de inatividade	Antony et al. (2005)
	Keller (2001)
	Knowles et al. (2004)
	Terziovski e Sohal (2000)
Eliminar movimentos desnecessários nas etapas do processo	Keller (2001)
Eliminar movimentos desnecessários de produto e / ou pessoal	Keller (2001)
Redução de reclamações de clientes	Antony et al. (2005)
Melhoria da capacidade	Keller (2001)
Melhoria no ambiente dos empregados	Henson et al. (1999)
	Terziovski and Sohal (2000)
Melhoria nas vendas	Antony et al. (2005)
Redução da inspeção	Antony et al. (2005)
Redução de custos operacionais	Antony et al. (2005)
	Henson et al. (1999)
	Knowles et al. (2004)

Fonte: Adaptado de Scott, Wilcock e Kanetkar (2009, p. 210).

Ghalayini e Noble (1996) destacam que a medição de desempenho pode ser dividida em duas fases. A primeira delas começou em 1880 e foi até 1980. Tal época enfatizou medidas financeiras de desempenho como lucro, retorno sobre o investimento e produtividade. A segunda fase teve início em 1980 refletindo o resultado da concorrência global que disseminou novas tecnologias e filosofias. Assim, para competir, as empresas tinham que ter alta qualidade, diversidade de produtos, prazo de entrega confiável e custos baixos. Contudo, as novas exigências dos clientes somadas às novas tecnologias revelaram as limitações das tradicionais medidas de desempenho. Assim, foi necessário o aprimoramento de tais sistemas para o sucesso e prosperidade das empresas. (GHALAYINI; NOBLE, 1996).

Neely, Gregory e Platts (1995) afirmam que um sistema de medição de desempenho pode ser entendido como o conjunto de métricas utilizado para quantificar a eficiência e a eficácia das ações. Para os autores, a medição de desempenho pode ser vista por diferentes recortes, como apresenta a Figura 19.

Figura 19 - Visão sistêmica da medição de desempenho



Fonte: Neely, Gregory e Platts (1995, p. 81).

Nesse contexto, um sistema de medição de desempenho pode ser examinado em três diferentes níveis: o primeiro nível representa as medidas de desempenho individuais; o segundo nível aborda o conjunto de medidas que formam um sistema de medição de desempenho; e, por fim, o terceiro nível engloba a relação entre o sistema de medição de

desempenho e o ambiente em que ele está inserido, tanto interno quanto externo. Neely, Gregory e Platts (1995) indicam os principais passos a serem seguidos para a formação de um sistema de medição de desempenho robusto:

- a) definir claramente a missão da empresa;
- b) identificar os objetivos estratégicos com a missão, como por exemplo: lucratividade, participação de mercado, qualidade, custo, flexibilidade, confiabilidade e inovação;
- c) desenvolver uma compreensão do papel de cada área funcional em relação às estratégias;
- d) criar, para cada área funcional, medidas globais de desempenho capazes de definir a posição competitiva da empresa em nível operacional;
- e) comunicar os objetivos estratégicos e as metas de desempenho para toda a hierarquia, estabelecendo critérios de desempenho específicos para cada nível;
- f) assegurar a coerência entre os objetivos estratégicos através dos critérios do sistema de medição de desempenho;
- g) garantir a compatibilidade das medidas de desempenho utilizados em todas as áreas funcionais;
- h) usar o sistema de medição de desempenho para identificar a posição competitiva da empresa, localizar áreas problemáticas, auxiliar a empresa na atualização dos objetivos estratégicos e tomar decisões táticas para atingir esses objetivos. Por fim, fornecer *feedback* após as decisões implementadas;
- i) reavaliar periodicamente a adequação do sistema de medição de desempenho, levando em consideração os objetivos estratégicos e o ambiente competitivo.

Neely, Gregory e Platts (1995) destacam que após desenvolvido, o sistema de medição de desempenho deve ser implantado. Logo, ele deverá interagir com o ambiente em geral. Martins (1998) alerta que a utilização de medidas de desempenho com foco no controle é uma falha comum dos sistemas de medição de desempenho voltados à melhoria contínua. Essa falha pode conduzir a resultados equivocados.

Blossom e Bradley (1999) também alertam para erros em decorrência da avaliação de um critério de melhoria através de uma única medida de desempenho, ou então, de um número excessivo de medidas de desempenho. Martins (1998) destaca que toda medição sempre exerce um efeito sobre o que ou quem está sendo medido. Assim, nesses termos, a

medição de desempenho contribuiu como uma ferramenta para o ciclo de aprendizado de melhoria contínua. (ATTADIA; MARTINS, 2003).

Martins (1998) afirma que, após minuciosa revisão bibliográfica, identificou diversos estudos abordando a medição de desempenho. Estes procuravam ser adequados à realidade da maioria das empresas. Contudo, o autor identificou que tais métodos de medição falham, em sua maioria, por utilizarem medidas de desempenho focadas estritamente no controle. Tal característica favorece a distorção dos resultados.

Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) apontam que existem diferentes estágios no processo de desenvolvimento da melhoria contínua. Entre eles estão: a pré-melhoria contínua, a melhoria contínua estruturada, a melhoria contínua orientada, a melhoria contínua pró-ativa, e, por fim, a capacidade total de melhoria contínua. O Quadro 11 apresenta em detalhes esses diferentes estágios propostos por Bessant, Caffyn e Gallagher (2001).

Quadro 11 - Fases da evolução da melhoria contínua

Estágio de melhoria contínua	Descrição
Nível 1: Pré-melhoria contínua	O conceito de melhoria contínua é introduzido em função de alguma crise ou problema, ou então pela realização de seminário ou visita a outra empresa. Na fase em questão, a melhoria contínua ainda não influencia o desempenho da empresa.
Nível 2: Melhoria contínua estruturada	Existe o comprometimento formal na construção do sistema de melhoria contínua. Nessa etapa utiliza-se treinamentos e ferramentas voltadas à melhoria contínua. Logo, é possível observar os efeitos discretos e localizados no desempenho da organização. Contudo, o aumento da motivação ocorre como efeito da curva de aprendizado associado a novos produtos e processos.
Nível 3: Melhoria contínua orientada	Os procedimentos de melhoria contínua estão ligados às metas estratégicas. A medição do desempenho está ligada formalmente com a estratégia.
Nível 4: Melhoria contínua pró-ativa	Existe interesse em motivar e dar autonomia às pessoas e aos grupos para administrarem os processos e promoverem melhorias incrementais. Nessa etapa, existe um elevado nível relacionado à experiência na resolução de problemas.
Nível 5 – Capacidade total de melhoria contínua	Existe aproximação em relação ao modelo de aprendizado organizacional. Além disso, há habilidade em desenvolver novas competências através de inovações estratégicas. Logo, a melhoria contínua consiste na base para a sobrevivência da organização.

Fonte: Bessant, Caffyn e Gallagher (2001, p.73).

Attadia e Martins (2003) alertam que os estágios para melhoria contínua apresentados por Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) constituem-se em arquétipos genéricos, não

traduzindo exatamente a realidade das empresas, já que cada organização tem sua própria vivência em relação à melhoria contínua.

Com base nos estágios de melhoria contínua propostos por Bessant, Caffyn e Gallagher (2001), apresentados no Quadro 11, Attadia e Martins (2003) apresentam sugestão para medição de cada estágio do processo de modo a suportar sua evolução. O Quadro 12 elabora uma síntese desse modelo.

Quadro 12 - Modelo de medição de desempenho para suportar a evolução do processo de melhoria contínua.

Estágio de melhoria contínua	Medição de desempenho
Pré-melhoria contínua	<ul style="list-style-type: none"> • Recorte: medidas individuais. • Finalidade: monitoramento de atividades específicas. • Características: medidas locais (específicas para uma determinada atividade).
Melhoria contínua estruturada	<ul style="list-style-type: none"> • Recorte: conjunto de medidas de desempenho. • Finalidade: controle dos processos (atividades e resultados). • Características: medidas não financeiras de entrada e saída.
Melhoria contínua orientada	<ul style="list-style-type: none"> • Recorte: sistema de medição de desempenho. • Finalidade: implementação de melhorias reativas. • Características: medidas financeiras e não financeiras balanceadas e alinhadas funcionalmente.
Melhoria contínua pró-ativa	<ul style="list-style-type: none"> • Recorte: sistema de medição coerente com o ambiente. • Finalidade: implementação de melhorias proativas. • Características: medidas financeiras e não financeiras balanceadas, alinhadas funcionalmente e ligadas por relações de causa e efeito. Medidas de satisfação dos <i>stakeholders</i> e medidas de desempenho preditivas.
Capacidade total de melhoria contínua	<ul style="list-style-type: none"> • Recorte: sistema de medição de desempenho voltado para o aprendizado. • Finalidade: implementação de mudanças ou transformações no negócio. • Características: medidas de desempenho sobre os aspectos intangíveis do negócio (competência e capacidades organizacionais).

Fonte: Attadia e Martins (2003, p. 40).

Existe vasta literatura abordando modelos relacionados à melhoria contínua e medição de desempenho. Contudo, o propósito desta seção não foi esgotar esses temas. No próximo item, será apresentada abordagem referente aos benefícios da melhoria contínua nas organizações. A seção procura avaliar se a melhoria contínua realmente aperfeiçoa os resultados das organizações.

2.3.3 A melhoria contínua realmente melhora os resultados das organizações?

Segundo Bessant, Caffyn e Gallagher (2001), a melhoria contínua tem considerável importância estratégica para todas as organizações. No entanto, sua gestão é, muitas vezes, mal conduzida. A principal causa desse problema tem origem na confusão em torno do

próprio conceito de melhoria contínua, que não se refere apenas aos resultados, mas também ao processo pelo qual o benefício é obtido. (BESSANT; CAFFYN; GALLAGHER, 2001).

O processo de melhoria contínua não constitui um estado binário ou uma atividade de curto prazo, mas sim a evolução e agregação de um conjunto de rotinas de comportamentos-chave dentro da empresa. Uma interpretação simplista sobre a essência dos programas de melhoria contínua contribuiu para a falha dessas iniciativas. Construir uma capacidade comportamental robusta, voltada à melhoria contínua, capaz de se autossustentar ao longo do tempo, constitui uma importante contribuição para a base dos recursos da empresa. No entanto, o processo de acumulação de tais recursos é longo e difícil. Para isso acontecer, é necessário promover aprendizagem e práticas capazes de reforçar comportamentos que mantenham rotinas de melhoramento permanentes na empresa. (BESSANT; CAFFYN; GALLAGHER, 2001). Apesar dos benefícios demonstrados em muitos programas de melhoria contínua, a maioria das tentativas por parte das empresas para usá-los, termina em fracasso. (EASTON; JARRELL, 1998).

Keating et al. (1999) explicam que existe um paradoxo entre os programas de melhoria contínua e seus resultados. Tal paradoxo diz respeito aos casos em que os programas de melhoria levaram ao declínio do desempenho do negócio, causando demissões, moral baixa e colapso em relação ao compromisso dos funcionários quanto ao melhoramento contínuo. Do mesmo modo, muitas empresas descobriram que é extremamente difícil sustentar a melhoria contínua em longo prazo, mesmo quando tais programas são inicialmente bem sucedidos. A falta de contabilização de *feedback* em relação aos programas conduz a efeitos secundários inesperados e, muitas vezes, prejudiciais, que podem causar o colapso prematuro e abandono dos programas de melhoria contínua. (KEATING et al., 1999).

Outro aspecto interessante diz respeito à alta pressão sobre os funcionários para cumprirem metas. Essa situação estimula o trabalhador a reduzir o tempo dedicado ao aperfeiçoamento contínuo e concentrar seus esforços no atingimento das metas. Contudo, tal fator acaba contribuindo para a redução do crescimento da qualidade e produtividade. Outro fator relevante está relacionado à insegurança dos empregados. Esse aspecto também pode destruir o compromisso com o processo de melhoria contínua. Muitos trabalhadores podem evitar atividades de melhoria contínua com receio de serem demitidos em função do aumento da produtividade. Cada um desses fatores deve ser gerenciado de maneira que possa gerar compromisso de autorreforço para perpetuação do processo de melhoria contínua na organização. (KEATING et al., 1999).

Keating et al. (1999) apontam que o sucesso dos programas de melhoria contínua está associado ao treinamento e suporte dos funcionários. No entanto, esse processo exige um tempo considerável para desenvolver uma infraestrutura para apoio e formação. A capacidade de formação inclui instrutores qualificados, um conjunto específico de técnicas e especificidades da organização e materiais personalizados. Equipes de melhoria também necessitam de apoio de pessoas experientes, de bibliotecas com material sobre projetos anteriores, bem como de ferramentas e recursos para apoio à implementação de suas ideias de melhoria. (KEATING et al., 1999). Na próxima seção, serão brevemente abordados os conceitos referentes ao programa 5S.

2.3.4 O programa 5S

O programa 5S tem o objetivo de mudar a maneira de pensar das pessoas, visando a um melhor comportamento. Ele não se limita a um evento de limpeza e organização, antes é uma alternativa importante de melhoria de produtividade da empresa. (CAMPOS, 1992).

A sigla 5S tem origem em cinco palavras japonesas: SEIRI, SEITON, SEISOH, SEIKETSU, SHITSUKE. A ferramenta envolve todas as áreas e hierarquias de uma empresa, do presidente ao operário, do chão de fábrica às áreas de apoio e administrativas. É importante que a liderança do programa venha da alta administração garantindo, assim, um maior comprometimento de todos. (CAMPOS, 1992). O Quadro 13 apresenta em detalhes o significado da sigla 5S.

Quadro 13 - Significado do 5S

5S	Produção	Administração
SEIRI (arrumação)	Identificação dos equipamentos, ferramentas e materiais necessários nas oficinas e postos de trabalho.	Identificação de dados e informações necessárias e desnecessárias para decisões.
SEITON (ordenação)	Determinação do local específico ou <i>layout</i> para os equipamentos, para que sejam localizados e utilizados a qualquer momento.	Determinação do local de arquivo, para pesquisa e utilização de dados a qualquer momento. Deve-se estabelecer um padrão de 5 minutos para se localizar um dado.
SEISOH (limpeza)	Eliminação de pó, sujeira e objetos desnecessários e manutenção da limpeza nos postos de trabalho.	Atualização e renovação frequente de dados, para se ter base para decisões corretas.
SEIKETSU (asseio)	Ações consistentes e repetitivas visando arrumação, ordenação e limpeza e, ainda, manutenção de boas condições sanitárias e sem qualquer poluição.	Estabelecimento, preparação e implementação de informações e dados de fácil entendimento, que serão muito úteis e práticos para decisões.
SHITSUKE (disciplina)	Hábito para o cumprimento de regras e procedimentos especificados pelo cliente.	Hábito para cumprimento dos procedimentos determinados pela empresa.

Fonte: Campos (1992, p. 174).

O programa 5S, além de melhorar as condições operacionais, estabelece a disciplina operacional. Esse fator contribui para melhoria da produtividade e qualidade de vida dos funcionários. Nesta seção, foram apresentados os principais conceitos referentes ao programa 5S; já no próximo item, serão apresentados os conceitos abordando o relatório A3.

2.3.5 O relatório A3

Sobek e Smalley (2010) indicam que o relatório A3 pode ser entendido como uma ferramenta capaz de estabelecer uma estrutura robusta para o uso da gestão PDCA. A utilização do relatório A3 possibilita uma compreensão mais aprofundada sobre a situação problema, proporcionando a geração de novas ideias e estratégias para abordá-lo. Possibilita, ainda, um melhor alinhamento para tomada de decisão nas organizações.

Os autores em questão apontam sete elementos principais envolvidos no sistema A3. O primeiro seria o processo de raciocínio lógico. Esse elemento compreende uma interação entre disciplina na execução do PDCA e metodologia científica de investigação. Nessa abordagem, o relatório A3 ajuda a promover e reforçar os processos de raciocínio lógico, contribuindo para a assertividade e a resolução de problemas.

O segundo elemento seria a objetividade. Nesse contexto, o pensamento A3 contribui para as representações mentais da realidade. O pensamento A3 procura reconciliar diversos pontos de vista, buscando uma visão mais objetiva do que a de um ponto de vista isolado. O terceiro elemento consiste em resultados e processos. Nesse aspecto, o pensamento A3 não aprova o atingimento de metas com processos descuidados. Com base nessa análise, a conquista acidental de resultado não representa um fator de sucesso em longo prazo, da mesma forma que seguir o processo e não atingir resultados pode ser considerado igualmente ineficaz.

O quarto elemento consiste na síntese, destilação e visualização. Logo, o relatório A3 busca ser breve e focado. Esse aspecto contribui para a síntese do aprendizado sobre o problema. Dessa maneira, o relatório A3 integra diferentes fontes de informação em um retrato coerente da situação, chegando aos pontos relevantes e necessários ao entendimento. Nesse aspecto, o relatório A3 pode utilizar representações gráficas, desenhos do processo ou do problema. Isso acaba facilitando o entendimento e a interpretação da situação em estudo.

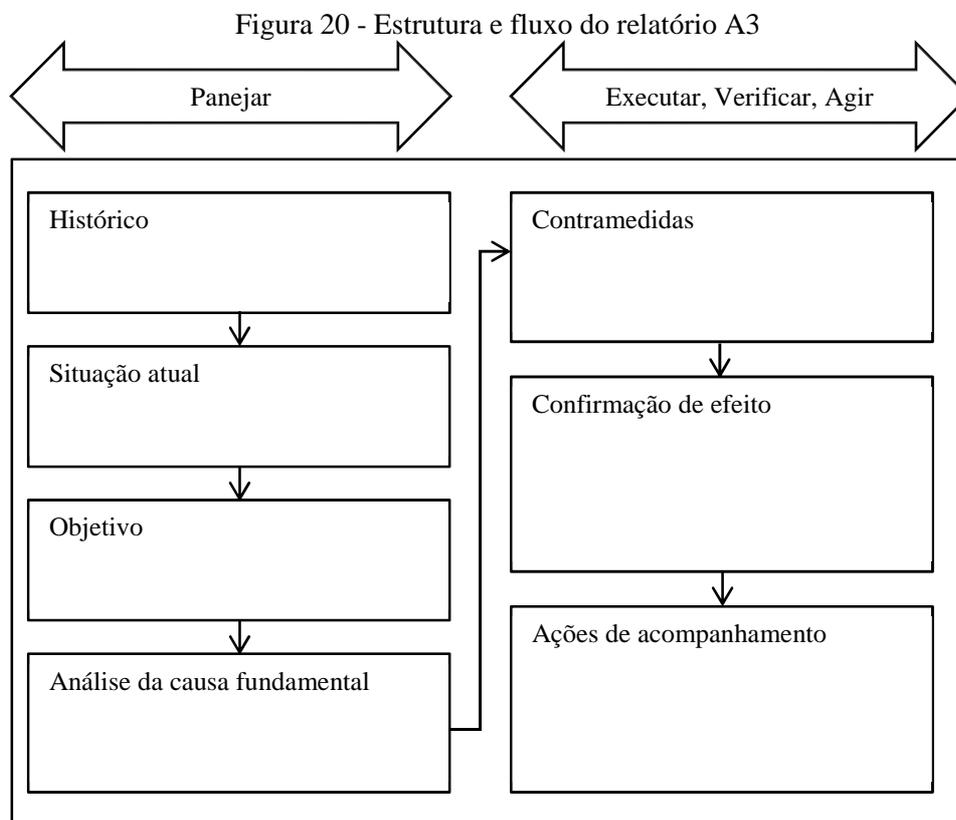
O quinto elemento é o alinhamento, que geralmente engloba comunicação por meio da organização como um todo. Essa comunicação pode ser entendida como horizontal (por meio da organização), vertical (por toda a hierarquia) e também em profundidade (no passado e no

futuro). Logo, a equipe se comunica horizontalmente com todos os grupos da organização que podem ser atingidos pela mudança proposta, propondo soluções para cada situação.

O sexto elemento consiste na coerência interna e na consistência externa. Nesse aspecto, o relatório A3 estabelece uma sequência lógica de uma parte do relatório para outra, proporcionando uma melhor abordagem para a solução do problema. Logo, a abordagem consistente favorece a comunicação e o entendimento compartilhado de toda a organização. Nesse contexto, a lógica implícita da abordagem contribui para antecipar e oferecer informações que ajudem na resolução do problema.

O sétimo elemento é o ponto de vista sistêmico. Nessa etapa, a pessoa é orientada a desenvolver uma compreensão aprofundada em relação: ao propósito do curso em ação; a como o curso de ação contribui para atingir as metas e necessidades da organização; e a como ele se encaixa no contexto e interfere em outras partes da organização.

Segundo Sobek e Smalley (2010), o relatório A3 tem um fluxo orientado para solução de problemas baseado no ciclo PDCA. Dessa forma, o lado esquerdo do relatório em geral é alinhado com a parte “Planejar” do PDCA. Já o direito alinha-se com as partes “Executar, Verificar e Agir”. A Figura 20 ilustra a estrutura e o fluxo do relatório A3 baseado no ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado de Sobek e Smalley (2010).

Após a apresentação do relatório A3, serão verificados, com maior detalhamento, os conceitos e definições referentes ao *Kaizen*.

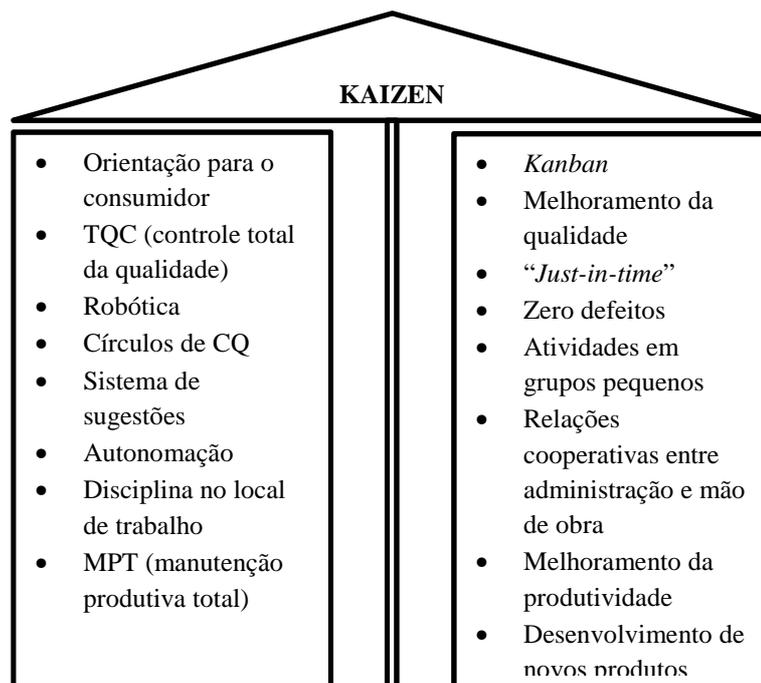
2.3.6 O *Kaizen*

Segundo Imai (1992), *Kaizen* é palavra de origem japonesa que significa melhoramento contínuo. O termo significa *Kai* (mudar) e *Zen* (melhor), podendo ser definido como:

KAIZEN significa melhoramento. Mais que isso, significa contínuo melhoramento na vida pessoal, na vida domiciliar, na vida social e na vida no trabalho. Quando aplicado no local de trabalho, *KAIZEN* significa contínuo melhoramento envolvendo todos – tanto os gerentes quanto os operários. (IMAI, 1992, p. xv).

O autor destaca que o *Kaizen* é um conceito “guarda-chuva”, que abrange a maioria das práticas de aprimoramento dos processos produtivos e administrativos. Contudo, o *Kaizen* contribui para torná-los mais enxutos e eficientes. Moura (1989) denomina *Kaizen* como uma prática capaz de promover, manter e melhorar os padrões de trabalho. Logo, a principal finalidade da ferramenta é melhorar os padrões de trabalho por meio de pequenas e graduais melhorias. A Figura 21 exemplifica o conceito de *Kaizen* como processo de melhoramento contínuo.

Figura 21 - O Guarda-Chuva do *Kaizen*



Fonte: Adaptado de Imai (1992, p. 4).

Após apresentação do *Kaizen*, serão visualizados os conceitos e as principais definições referentes ao sistema *Kanban*, supermercado de componentes e rotas de abastecimento.

2.3.7 O sistema *Kanban*, supermercado de componentes e rotas de abastecimento

O Sistema *Kanban* foi criado e desenvolvido por Taiichi Ohno e sua equipe durante a construção do Sistema Toyota de Produção. Trata-se de uma ferramenta essencial para o funcionamento do sistema puxado. Seu principal objetivo é sincronizar a produção com a demanda real, puxando o trabalho. (OHNO, 1997). O *Kanban* é um mecanismo de controle que liga as atividades de produção e as informações de demanda transmitidas a partir dos pulmões de produtos finais às estações de trabalho anteriores, usando cartões *Kanban*. (AL-TAHAT; MUKATTASH, 2006). O Sistema em questão é um método já bastante conhecido no que concerne à questão do planejamento e controle da produção no chão-de-fábrica. Porém, apesar de existir há mais de 60 anos, não perdeu sua validade e continua sendo uma ferramenta essencial da Manufatura Enxuta.

O sistema *Kanban* também contribuiu para uma melhor sincronização da produção com a demanda. (OHNO, 1997). Para Moura (1989), os sistemas produtivos podem ser classificados em puxados ou empurrados. Os dois sistemas compreendem lógicas opostas e têm suas vantagens e desvantagens. A maioria das indústrias utiliza a produção empurrada, na qual o estoque é baseado na previsão de demanda. Isso significa produzir com antecedência em relação à demanda real.

O sistema empurrado é um sistema convencional de produção. Quando uma tarefa é concluída, o fluxo segue para a estação de trabalho seguinte, que exige ainda mais processamento ou armazenamento. Nesse sistema, há um cartão de trabalho, que é transferido etapa por etapa, de acordo com sua sequência. Nesse método, devido a alterações imprevisíveis na demanda ou a dificuldades na produção, o trabalho pode se desviar de sua programação, fazendo com que haja acumulação de inventário em processo, dando origem à prática de promover altos níveis de estoque de segurança. (KUMAR; PANNEERSELVAM, 2007).

Conforme Kumar e Panneerselvam (2007), um sistema puxado consiste em uma sequência de estações de trabalho envolvendo adição de valor em cada uma delas. A partir da estação atual (j), cada trabalho é retirado pela estação sucedânea ($j + 1$). Em outras palavras, o fluxo é puxado pela próxima estação de trabalho em vez de ser empurrado pela estação anterior.

O fluxo de peças ao longo da linha de produto é controlado por cartões *Kanban*. Cada estação de trabalho tem um ponto de entrada e um ponto de saída de estoque. A principal vantagem do sistema puxado é o inventário reduzido e, portanto, o custo reduzido de estoques.

Conforme Ohno, (1997) o *Kanban* consiste em um cartão de papel com três categorias de informações: (1) informação de coleta; (2) informações de transferência; e (3) Informações de produção. Segundo Shingo (1996), o *Kanban* pode ter duas funções principais: *Kanban* de produção, usado como identificação e como instrução de tarefa; e *Kanban* de movimentação, também utilizado para identificação e transferência de componentes. Para Ohno (1997), o sistema apresenta algumas funções e regras de utilização. O Quadro 14 apresenta, em detalhes, essas características.

Quadro 14 - Funções e regras de utilização do sistema *Kanban*.

Funções do <i>Kanban</i>	Regras para utilização
✓ Fornecer informação sobre apanhar ou transportar;	✓ O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo <i>Kanban</i> no processo precedente;
✓ Fornecer informação sobre a produção;	✓ O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicada pelo <i>Kanban</i> ;
✓ Impedir a superprodução e o transporte excessivo;	✓ Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>Kanban</i> ;
✓ Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias;	✓ Serve para fixar um <i>Kanban</i> às mercadorias;
✓ Barrar produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz;	✓ Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado é mercadoria 100% livre de defeitos.
✓ Revelar os problemas existentes e manter o controle de estoques.	✓ Reduzir o número de <i>Kanbans</i> aumenta sua sensibilidade aos problemas.

Fonte: Ohno (1997, p. 48).

O *Kanban* também facilita o controle visual de tudo o que está ocorrendo no processo produtivo. O Quadro 15 apresenta as principais finalidades de uso do sistema.

Quadro 15 - Principais finalidades do sistema *Kanban*

✓ Aciona o processo de fabricação apenas quando necessário;	✓ Evita o excesso ou a falta de produção/entrega de peças;
✓ Não permite a produção para estoque com previsões futuras;	✓ Controla o inventário;
✓ Paralisa a linha quando surgem problemas não solucionados;	✓ Descobre e amplia as fraquezas dos processos;
✓ Permite o controle visual do andamento do processo;	✓ Produz peças com base em lotes pequenos;
✓ É acionado pelo próprio operador;	✓ Entrega peças de acordo com o consumo;
✓ Garante a distribuição programada das ordens de serviço.	✓ Identifica peças.

Fonte: Moura (1989, p. 28).

Um elemento chave do Sistema *Kanban* é o supermercado de componentes. Tal forma é a mais difundida dentre as utilizadas na produção puxada. A ideia teve origem após a visita de Eiji Toyoda aos EUA, na década de 50. Eiji ficou impressionado com o sistema americano de supermercados. De volta ao Japão, adaptou o conceito à linha de montagem de veículos da Toyota. (SHIMOKAWA; FUJIMOTO, 2011).

Outro elemento chave do sistema *Kanban* são as rotas de abastecimento. Womack (2008) faz uma analogia das rotas de entrega com o sistema cardiovascular do corpo humano. “Eles são as linhas da vida, entregando os nutrientes e retirando os resíduos (na forma de embalagens vazias) para manter as células limpas e com o que elas precisam, quando elas precisam.” Um projeto eficaz de movimentação de materiais e informações ao longo da fábrica contribui para as seguintes melhorias: reduzir e controlar os níveis de estoque, atender vários postos de trabalho continuamente, minimizar a movimentação de materiais, facilitar a entrega de peças, retirar embalagens vazias, liberar espaço para produção, maximizar a eficiência da célula de trabalho em fluxo contínuo. (WOMACK, 2008). Na próxima seção, será apresentado o sistema *Just-in-time*.

2.3.8 O Sistema *Just-in-time*

O Sistema *Just-In-Time* (JIT) tem como principal foco combater os desperdícios, fabricar produtos de qualidade, aumentar a flexibilidade da manufatura, diminuir custos, reduzir tamanhos de lote em operação e eliminar desperdícios. O sistema JIT foi desenvolvido no Japão, na Toyota Motor Company, por Taiichi Ono e Eiji Toyoda durante o período de dificuldades econômicas em que o país se encontrava no início dos anos 70. (FERREIRA, 2009). É nesse sentido que se pode dizer que o JIT é considerado uma ampla estratégia de manufatura focada na redução dos desperdícios, melhorando a qualidade dos produtos e das operações de fabricação. (MOURA, 1989).

Watson e Patti (2008) explicam que o JIT é uma filosofia voltada para a eliminação de resíduos através da simplificação dos processos de fabricação. É composto por uma série de práticas, as quais, quando tomadas em conjunto, contribuem para a gestão altamente eficaz de operações de fabricação. No entanto, é importante não confundir o JIT com o *Kanban*: o JIT se refere à filosofia completa do Sistema Toyota de Produção. Para Moura (1989), o *Kanban* pode ser entendido como uma técnica de “puxar a produção”, constituindo um elemento

chave do JIT ou, ainda, um método para coordenar a produção e a movimentação de materiais no chão-de-fábrica. (WATSON; PATTI, 2008).

As perdas no ambiente fabril podem ocorrer em diversas situações: filas de materiais ocupando espaço e prolongando o tempo de ciclo, estoques em excesso, superprodução, movimentação de materiais, etc. O sistema JIT busca estabelecer um fluxo produtivo contínuo, de preferência peça por peça, ou seja, um fluxo unitário. Esse conceito promove grandes economias e contribui de forma significativa para a gestão da produção.

Do mesmo modo, o *setup* rápido constitui um elemento fundamental para o sucesso do sistema JIT. O *setup* rápido (troca rápida de ferramentas - TRF) possibilita flexibilidade para atender demandas que cada vez mais exigem grandes variedades de produtos com pequenas quantidades. Um aspecto interessante a ser considerado diz respeito ao elemento humano no sistema JIT. O envolvimento do operário e também da alta administração são de extrema importância para o funcionamento do sistema. (MOURA, 1989).

Segundo Ohno (1997) “a base do Sistema Toyota de Produção é a eliminação dos desperdícios”. Para o autor, o JIT pode ser entendido como um processo de fluxo contínuo, com peças somente nas quantidades necessárias, de forma ordenada e fluxo com foco unitário buscando estoque zero. Essa seria a condição ideal para o sistema. Shingo (1996) complementa que JIT, em Japonês, significa “momento certo”, “oportuno”, e em Inglês, “exatamente no momento estabelecido”, sem geração de estoques. Na seção seguinte, serão apresentados os conceitos referentes ao programa Seis Sigma.

2.3.9 O Seis Sigma

O Seis Sigma é uma metodologia rigorosa, voltada à melhoria contínua, desenvolvida pela Motorola na década de 80, cujo objetivo principal é o foco no cliente (CELIS; GARCÍA, 2012). A metodologia Seis Sigma conta com o auxílio de métodos estatísticos para definir problemas e situações a serem melhoradas. Além disso, utiliza medições para obter dados e informações, analisar os dados coletados, realizar melhorias no processo e, por fim, ter o controle dos processos ou produtos. Tal metodologia contribui para alcançar resultados de forma sustentada, proporcionando um ciclo de melhoria contínua. (ARNHEITER; MALEYEFF, 2005).

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2000), a metodologia Seis Sigma é considerada tecnicamente como um dos principais elementos do processo de Qualidade Total. A ferramenta pode ser entendida como uma forma quantitativa de medição dos esforços de

Qualidade Total, contribuindo para o progresso de clientes, acionistas, funcionários e fornecedores. Além disso, possibilita a comparação de suas métricas com a dos concorrentes.

Bayle et al. (2001) destacam que o objetivo principal do nível de desempenho da metodologia Seis Sigma está em minimizar custos, por meio da exclusão das atividades que não agregam valor aos processos. Outro propósito é maximizar a qualidade como estratégia para aumentar os lucros. Arnheiter e Maleyeff (2005) citam que a metodologia Seis Sigma é uma ampla estratégia de negócio capaz de contribuir para a tomada de decisões em longo prazo, diferenciando-se dos programas de gestão da qualidade estritamente focados.

O Seis Sigma pode ser considerado como uma metodologia que leva as empresas a aumentarem drasticamente seus lucros por meio da reestruturação dos processos e das operações, com isso elevando a qualidade e reduzindo defeitos ou falhas em qualquer área da empresa. A metodologia é aplicável a diversos processos, incluindo: partes de peças, montagens, submontagens, produtos, matérias-primas, temperatura, umidade, velocidade, pressão, entre outros. (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2000). O Seis Sigma deve contar com forte liderança e comprometimento organizacional e não dever concentrar o foco em pontos específicos, mas sim sobre toda a organização, alinhando as estratégias do negócio. (MARASH, 2000).

A metodologia Seis Sigma foi desenvolvida na Motorola, em resposta ao baixo padrão de qualidade dos produtos. Na época, os engenheiros da empresa usavam a regra de "três-sigma" para satisfazer as tolerâncias dos processos existentes. Logo depois, a organização buscou utilizar seis unidades de desvio padrão para variação dos seus processos. Esse era o número esperado para estar de acordo com as tolerâncias dentro da visão Seis Sigma. (ARNHEITER; MALEYEFF, 2005). A Tabela 2 apresenta os níveis de desempenho referentes ao Seis Sigma, que pode ser expresso por DPMO (*defects per a million of occasions*), isto é, defeitos por milhão.

Tabela 2 - Tabela de conversão Seis Sigma

Se o desempenho for...	DPMO	Sigma (nível)
30,9%	690.000	1,0
69,2%	308.000	2,0
93,3%	66.800	3,0
99,4%	6.210	4,0
99,98%	320	5,0
99,9997%	3,4	6,0

Fonte: Brutu (2010, p. 38).

Bayle et al. (2001) destacam que o Seis Sigma só pode ser sustentado mediante a existência de uma consciência da importância dos métodos estatísticos para o conhecimento dos produtos e processos. Nesse contexto, Coronado e Antony (2002) apontam duas metodologias distintas dentro do Seis Sigma: a primeira delas é a metodologia DMAIC (*Define Measure Analyse Improve Control*), que significa: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. A segunda, consiste na metodologia preventiva, mais conhecida como “Projetando para o Seis Sigma” DFSS (*Design For Six Sigma*), que se distribui em quatro etapas: identificar, projetar, aperfeiçoar e validar.

As duas metodologias descritas acima estão baseadas fortemente no uso da estatística. No entanto, Coronado e Antony (2002) afirmam que, na maioria das vezes, não são necessárias técnicas estatísticas avançadas para a solução dos problemas. O uso combinado de cartas de controle, gráficos, testes de hipótese, análise de variância ANOVA, ferramentas da qualidade, entre outros, contribuem e atendem satisfatoriamente a maioria dos casos. Na próxima seção, serão apresentados os conceitos referentes à melhoria de *layout*.

2.3.10 Melhoria de *layout*

O *layout* consiste na organização das instalações físicas da empresa de forma a promover a utilização eficiente de equipamentos, matérias, pessoas e energia. Da mesma forma, propicia eliminar perdas por movimentação e transporte, por exemplo, como também proporciona o trabalho em equipe e instaura o controle de qualidade atuante, tendo como consequência a melhoria da produtividade. (MONDEN, 1984).

Ao longo do tempo, os sistemas de produção têm evoluído, indo desde os sistemas de produção artesanais até os novos sistemas de produção. Apesar dessa evolução, a principal função deles tem permanecido a mesma, a saber, a transformação da matéria-prima em produtos finais de qualidade. Para alcançar esse objetivo de forma contínua, os sistemas de produção necessitam de maior flexibilidade, incorporando rotinas de melhoras de qualidade e custos, com o intuito de se adaptarem às necessidades do cliente. (HALL; FORD, 1998).

O *layout* também é conhecido na literatura como arranjo físico. *Layout* de fábrica é um dos principais campos da engenharia industrial, sendo que muitos esforços de pesquisa foram feitos e numerosas aproximações foram desenvolvidas. (LIN; SHARP, 1999). O arranjo físico de uma operação ou processo se refere a como os recursos transformadores são posicionados em relação aos recursos transformados e a como as várias tarefas da operação serão alocadas. (SLACK et al., 2009). A decisão de arranjo físico recebe importante atenção na administração

da produção e de operações. (ANDRA; SEHGALB; NOORI, 2008). Nessa área, a decisão de executar um arranjo físico é fundamental para evitar alterações prejudiciais ao processo de produção industrial. (SLACK et al., 2009).

Para Shingo (1996), o transporte ou a movimentação de materiais são considerados custos que não agregam valor ao produto. Na ótica do Sistema Toyota de Produção, as perdas com transporte ou movimentação constituem um fator crítico de desperdício no ambiente industrial. Shingo (1996), afirma que a principal meta deve estar focada em aumentar a eficiência da produção através do aprimoramento do *layout* e dos processos, e não da função transporte. Melhorias reais de transporte buscam efetivamente eliminar tal função o tanto quanto possível. De certa forma, pode-se considerar que não existe arranjo físico perfeito, e sim o arranjo mais indicado para o momento. (SHINGO, 1996).

Segundo Vieira (1983), o planejamento de *layout* é recomendado para qualquer tipo de empresa, independentemente do seu tamanho. Um bom planejamento de um arranjo físico proporciona diversos tipos de redução de desperdícios aumentando, com isso, a eficiência operacional. Dentre as perdas eliminadas com a otimização do *layout*, tem-se: redução ou eliminação do homem-hora no transporte (que usualmente chega a 45% em relação ao total de tempo do processo fabril); melhoria dos indicadores da qualidade; diminuição do *lead time* de produção; redução de inventários em processo; aumento da produtividade; elevação da motivação; e comprometimento dos trabalhadores. (SHINGO, 1996; MODEN, 1984).

Shingo (1996) destaca que a alteração do *layout* fabril para priorizar o fluxo contínuo consiste em um fator imprescindível no Sistema Toyota de Produção. Segundo Slack et al. (2009), os tipos de *layout* podem ser resumidos em quatro: de posição fixa, funcional, celular e por produto. Como exemplo de *layout* de posição fixa, pode-se citar a construção de uma ferrovia, que não poderá ser movimentada e permanecerá fixa. Nesse caso, o produto produzido não se movimenta, já os recursos responsáveis pela construção do produto é que se movimentam em torno dele. (SLACK et al., 2009).

O *layout* funcional (*job shop*) é também chamado de arranjo físico por processo. Nesse tipo de *layout* as máquinas estão fixas e agrupadas por funções. Os processos similares são localizados juntos um do outro, de modo conveniente à operação e de maneira que a utilização dos recursos produtivos seja beneficiada. Logo, quando os produtos ou informações fluem pela operação, seguem um roteiro de processo a processo, conforme suas necessidades.

O *layout* celular é a organização e o arranjo antecipado dos recursos transformadores no processo de produção. Nesse arranjo, cada célula trabalha com certa autonomia, mas sem perder coordenação com as outras células. Exemplo: empresas de componentes de

computadores, cujas peças, antes de serem embaladas, têm que passar pela sala de controle de qualidade.

O *layout* por produto (*flow shop*), chamado também arranjo físico de linha, é a distribuição e o deslocamento, em uma linha de montagem, dos recursos transformadores, ou seja, de todo o processo produtivo. Aqui, o arranjo é realizado de forma específica ao produto que vai ser fabricado. Exemplo: a linha de montagem de um automóvel da Ford. O Quadro 16 mostra as vantagens e desvantagens dos tipos básicos de arranjos físicos.

Quadro 16 – Os tipos de *layout* e suas aplicações.

Tipo de <i>layout</i>	Vantagens	Desvantagens
Fixo ou Posicional	Flexibilidade muito alta de mix e produto. Produto ou cliente não movido ou perturbado. Alta variedade de tarefas para a mão de obra.	Custos unitários muito altos. Programação de espaço ou atividades pode ser complexa. Pode significar muita movimentação de equipamentos e mão de obra.
Funcional ou por Processo	Alta flexibilidade de mix e produto. Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas. Supervisão de equipamento e instalações relativamente fácil.	Baixa utilização de recursos. Pode ter alto estoque em processo ou filas de clientes Fluxo complexo, que pode ser difícil de controlar.
Celular	Pode dar um bom equilíbrio em custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta. Atravessamento rápido. Trabalho em grupo pode resultar em melhor motivação.	Pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual. Pode requerer capacidade adicional. Pode reduzir níveis de utilização de recursos.
Produto ou Linha	Baixos custos unitários para altos volumes. Dá oportunidade para a especialização de equipamentos. Movimentação conveniente de clientes e materiais.	Pode ter baixa flexibilidade de mix. Não muito robusto contra interrupções. Trabalho pode ser repetitivo.

Fonte: Adaptado por Slack et al. (2009).

Para Wu et al. (2007), o *layout* celular de fabricação é reconhecido como uma prática inovadora para as empresas ganharem eficiência e flexibilidade. A questão central da manufatura é a necessidade da produção adequada. As operações de infraestrutura e capacidade devem ser cuidadosamente planejadas para gerenciar o fluxo de produção e planejamento. Assim, o *layout* industrial acaba assumindo um papel cada vez mais importante. Ele tem um impacto significativo sobre o desempenho de um sistema industrial ou de serviço e tem sido uma área de pesquisa ativa por muitas décadas. A avaliação estratégica do *layout* de produção requer a consideração de fatores qualitativos e quantitativos, abordando aspectos gerenciais, organizacionais e técnicos. (HASAN; SARKIS; SHANKAR, 2012).

2.3.11 ISO (*International Organization for Standardization*)

Ferreira (2009) destaca que a ISO (*International Organization for Standardization*), Organização Internacional de Normatização em português, é uma expressão de origem grega em que ISOS (igual) tem significado similar aos encontrados em alguns termos, tais como: isometria (qualidade de medidas e dimensões) e isonomia (igualdade das pessoas perante a lei).

Nesse sentido, ISO está relacionado à (igual) "padrão". Refere-se a uma organização não governamental criada em 1947 com o objetivo de facilitar a coordenação e unificação internacional de normas industriais. Na década de 80, na Inglaterra, surgiu a ISO 9000, que estabeleceu um conjunto de normas de qualidade, com objetivo de servir a qualquer tipo de organização. (FERREIRA, 2009).

Ferreira (2009) aponta que a normatização ISO considera padrões com base nos seguintes pressupostos: no consenso, abordando os pontos de vista de todos os interessados (fabricantes, vendedores, consumidores, laboratórios de análises, governos, especialistas entre outros); na Aplicação Industrial Global, que busca soluções globais para satisfazer as indústrias e os clientes mundiais; no voluntário, que busca a estandardização internacional baseada no compromisso voluntário de todos os interessados do mercado.

Contudo, a Organização Internacional de Normatização (ISSO) é atuante em diversos tipos de segmentos, dentre eles indústrias, empresas de bens e serviços em geral. Possui abrangência em nível mundial e, atualmente, é amplamente utilizada em todo o mundo. (FERREIRA, 2009). Na próxima seção, será apresentada uma revisão da literatura sobre as principais relações referentes à melhoria contínua e eficiência, à melhoria contínua e volume de produção e à eficiência e volume de produção.

2.4 RELAÇÕES ENTRE MELHORIA CONTÍNUA, EFICIÊNCIA E VOLUME DE PRODUÇÃO

A seguir, será realizada uma breve revisão da literatura envolvendo as relações entre melhoria contínua e eficiência, melhoria contínua e volume de produção e, por fim, entre eficiência e volume de produção. Essa busca no referencial teórico tem o objetivo de verificar a existência de estudos baseados nessas relações. No capítulo 6, serão realizadas análises estatísticas (com o uso da regressão linear) com base nas três relações obtidas na presente

pesquisa. O objetivo dessa abordagem é verificar se essas relações refletem ou não no aumento da eficiência da empresa.

2.4.1 Relação entre melhoria contínua e eficiência

Rungtusanatham et al. (1998) apontam que o processo de melhoria contínua em processos, produtos ou serviços possibilita a redução de sucata, de custos de retrabalho, de desperdício e de atividades sem valor agregado. Em certa medida, esses fatores conduzem a organização a um aumento da produtividade e eficiência. Grandzol e Gershon (1997) indicam que a melhoria contínua está positivamente relacionada com o desempenho financeiro e operacional das organizações.

Para Choi (1995), a melhoria contínua contribui para aumentar a flexibilidade e agilidade das empresas em geral. Assim, as empresas desenvolvem maior capacidade e sensibilidade às mudanças de mercado, isto é, com o processo de melhoria contínua as organizações são preparadas para fazer mais com menos e, com isso, para serem mais competitivas e eficientes.

Segundo Bessant e Caffyn (1997) e Wu e Chen (2006), a melhoria contínua é uma atividade contínua que busca elevar o nível de desempenho de toda a organização por meio de mudanças incrementais com foco principal nos processos produtivos. Logo, promove o aperfeiçoamento de desempenho desses processos ao longo do tempo. Scott, Wilcock e Kanetkar (2009) afirmam que a implementação de programas de melhoria contínua, estruturadamente, exige que as organizações invistam, além dos recursos financeiros, em treinamento de pessoal e em um robusto alinhamento da liderança com os objetivos do programa.

Carpinetti e Martins (2001) destacam que há uma clara relação entre estratégias de produção e de melhoria contínua no sentido de utilização como parte da estratégia de negócio. Essa estratégia procura manter ou ganhar vantagem competitiva. Projetos de melhoria contínua devem ser priorizados levando-se em consideração o desempenho da empresa em relação aos concorrentes, tanto nos aspectos operacionais como em relação aos produtos e serviços. Jorgensen, Laugen e Boer (2007) alertam que o uso da atividade de melhoria contínua nas organizações conduz ao aumento do desempenho e da eficiência. Aqui, refere-se especificamente às seguintes medidas de desempenho:

- a) desempenho relacionado à eficiência/custo, incluindo a produtividade, volume de produção, prazo de entrega e confiabilidade;

- b) desempenho relacionado ao relacionamento entre pessoas, inclusive interdepartamental, relações com clientes e fornecedores;
- c) desempenho organizacional, incluindo compromisso e atitudes dos empregados para com a mudança, menores índices de absenteísmo, maior segurança e bem-estar dos funcionários, organização, cooperação e comunicação, competência e habilidade para o desenvolvimento de rotinas administrativas.

Readman (2007) afirma que na indústria automotiva há sempre a necessidade de melhorar a produtividade e qualidade dos produtos e serviços aumentando, com isso, a satisfação dos clientes e colaboradores. Logo, iniciativas relacionadas a melhorias necessárias podem ser abordadas em duas diferentes estratégias: a primeira delas trata das mudanças radicais, que necessitam, geralmente, de um longo período de planejamento, de investimentos e de pouca participação dos funcionários. A segunda estratégia aborda as melhorias rápidas, que requerem baixo investimento, envolvem funcionários e necessitam menos tempo para planejamento. A combinação certa de ambas as abordagens deve ser utilizada para cada tipo de operação. (TANCO et al., 2012). Na próxima seção, será apresentada a relação entre melhoria contínua e volume de produção.

2.4.2 Relação entre melhoria contínua e volume de produção

Existem poucos estudos quantitativos em nível operacional sobre os efeitos cumulativos dos programas de melhoria ao longo do tempo. (FILHO; UZSOY, 2011). Keating et al. (1999) apontam que, operacionalmente, o esforço alocado para melhoria contínua aumenta a produtividade, amplia o rendimento e diminui, assim, a pressão relativa a metas de produção, promovendo mais tempo para as ações voltadas à melhoria contínua por parte dos funcionários. Uma organização que reinveste seus ganhos de melhoria em mais esforço de melhoria, cria um poderoso *feedback* positivo que gera cada vez mais ganhos de qualidade e produtividade.

Filho e Uzsoy (2011) estudaram o efeito de diferentes programas de melhoria contínua sobre a relação entre tamanhos de lotes e tempos de ciclo. Nesse estudo, os autores descobriram que o relacionamento entre o tamanho de lote e o tempo de ciclo é complexo e não linear. Shingo (1996) aponta para perdas oriundas do aumento excessivo do volume de produção. Essas perdas são amplamente descritas na literatura como perdas por superprodução. Nesse sentido, Shingo (1996) destaca dois principais tipos de superprodução:

a superprodução quantitativa e a superprodução antecipada. A superprodução quantitativa acontece quando um determinado produto é fabricado em volume além do necessário. A superprodução antecipada acontece quando a produção é realizada antes de ser necessária.

Ohno (1997) destaca que a “as perdas por superprodução são os nossos piores inimigos, porque elas ajudam a esconder outras perdas”. Logo, essa afirmação indica que a falta de gestão sobre o volume de produção pode conduzir a desperdícios. Projetos de melhoria voltados à gestão e ao controle da quantidade produzida contribuem para eliminação de perdas referentes ao volume de produção. Do mesmo modo, Ohno (1997) alerta que as quantidades necessárias de produção estão baseadas nas vendas, que são, por sua vez, determinadas pelo mercado. Logo, o volume de produção é baseado na demanda dos pedidos reais, não podendo ser aumentado ou diminuído arbitrariamente. Nesse sentido, uma empresa precisa estar preparada para acompanhar as demandas diárias, absorvendo altos e baixos volumes sem perder sua eficiência e competitividade. (OHNO, 1997).

No que diz respeito a esse aspecto, programas de melhoria envolvendo abordagens *Just-In-Time* em sistemas produtivos direcionam esforços para atender somente as demandas solicitadas pelo mercado. Contudo, Ohno (1997) defende que para eliminar a superprodução e reduzir custos, é essencial que as quantidades produzidas sejam equivalentes às quantidades necessárias para atender o mercado. Todo esforço produtivo que resulta em volumes abaixo ou acima do necessário, constitui-se um desperdício para a organização. (OHNO, 1997).

Nesse sentido, projetos de melhoria contínua devem estar alinhados com as demandas existentes no mercado. Logo, a manutenção dos volumes produzidos e a flexibilidade da manufatura são fatores importantes a serem considerados. Por outro lado, ações direcionadas à melhoria contínua como, por exemplo, TRF (troca rápida de ferramentas), *Kanban*, *Just-In-Time*, *Kaizen* e projetos de *layout*, contribuem para a eliminação de perdas e atendimento das necessidades do mercado. (SHINGO, 1996).

Além disso, ações de melhoria focadas em restrições (gargalos) no processo produtivo conduzem ao aumento da capacidade produtiva e proporcionam condições para absorver maiores volumes de produção. (GOLDRATT, 2002). Gelders, Mannaerts e Maes (1994) destacam que a medição de desempenho em relação ao volume produzido consiste em um indicador comum para as empresas de metalurgia. Entretanto, o principal motivo da medição dos volumes produzidos está em relação ao controle e aos relatórios de hierarquia. Nesse sentido, uma minoria de empresas utiliza tal indicador com objetivo de analisar problemas ou avaliar os programas de melhoria contínua. Na seção seguinte, será apresentada a relação entre eficiência e volume de produção.

2.4.3 Relação entre eficiência e volume de produção

A escala ótima de produção é de grande importância para as organizações produtivas alcançarem maior competitividade. (FERREIRA; GOMES 2009). Gremaud et al. (1998) apontam a função produção como uma forma de identificar maneiras de solucionar problemas técnicos de produção por meio da combinação de fatores para o desenvolvimento do processo produtivo. É nesse sentido que se pode dizer que a função produção é a relação que mostra a quantidade obtida do produto, a partir da quantidade de fatores de produção utilizados. (GREMAUD et al., 1998).

Os rendimentos de escala resultam da variação da quantidade produzida em função das variações das quantidades de insumos utilizados em um determinado sistema produtivo. (FERREIRA; GOMES, 2009). Como visto na seção 2.2.3, os rendimentos constantes de escala significam que as variações nos insumos resultam em uma variação proporcional da produção. Assim, os rendimentos crescentes e decrescentes estão relacionados às variações desproporcionais de produção (para mais ou para menos) em relação aos insumos utilizados. De modo geral, os pesquisadores se preocupam em relação aos retornos decrescentes de escala. Gremaud et al., (1998) apontam a lei dos rendimentos decrescentes, que considera a seguinte premissa:

Aumentando-se a quantidade de um fator variável, permanecendo as quantidades dos demais fatores fixas a produção, inicialmente, crescerá a taxas crescentes; a seguir, depois de certa quantidade utilizada do fator variável, passaria a crescer a taxas decrescentes; continuando o incremento da utilização do fator variável, a produção decrescerá. (GREMAUD et al., 1998).

Essa lei também é conhecida como lei da produtividade marginal decrescente. (GREMAUD et al., 1998). Para Ferreira e Gomes (2009) ela pode ser entendida como congestão de insumos. À medida que um determinado insumo aumentar, os acréscimos de produção podem se tornar negativos. A Análise Envoltória de Dados (DEA) aborda esse fenômeno quando o aumento de um ou mais insumos tem relação direta com a redução de um ou mais produtos, ou então, quando a redução de um ou mais insumos gera aumento de um ou mais produtos. (FERREIRA; GOMES, 2009).

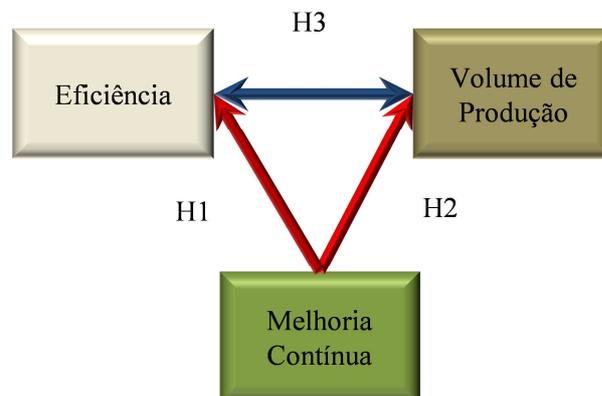
Souza et al. (1996) explicam que alguns setores produtivos, ao dobrarem sua escala de produção, têm mais que dobrada a quantidade produzida. Nesse caso, o setor produtivo apresenta retornos crescentes de escala. No entanto, o oposto pode acontecer, ou seja, dobra-

se a escala de produção e a quantidade produzida não dobra. Nesse caso, o setor teria retornos decrescentes de escala. (SOUZA et al., 1996).

Não é de todo impróprio ver que o desenvolvimento tecnológico seria uma solução importante para amenizar o problema de rendimentos decrescentes de escala. Em certa medida, o avanço tecnológico seria a única solução viável capaz de impedir a ineficiência produtiva oriunda da tentativa de aumento contínuo da produção. (FERREIRA; GOMES, 2009). Logo, pode ser inferido que o aumento do volume de produção sem o devido desenvolvimento tecnológico conduz à ineficiência produtiva. Com a sobrecarga dos recursos produtivos, os desperdícios aumentam e a eficiência diminui.

As relações entre melhoria contínua, eficiência e volume de produção apresentadas nas seções anteriores mostram alguns dos principais argumentos encontrados na literatura sobre essa abordagem. Assim, tais argumentos não constituem temas recentes na literatura. Contudo, suscitam um importante debate acerca da importância dos programas de melhoria nas organizações. A Figura 22 apresenta a tríade das relações entre melhoria contínua, eficiência e volume de produção, já abordada nas seções anteriores. Essa tríade será utilizada para orientar as análises da presente pesquisa.

Figura 22 - Tríade das relações: melhoria contínua, eficiência e volume de produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 22 representa integralmente as possíveis relações existentes abordadas nas seções anteriores. Na parte inferior da Figura está o bloco que representa os programas de melhoria contínua, com as setas em direção aos blocos que representam a eficiência e o volume de produção. Essas relações representam as seções (2.4.1) e (2.4.2).

Assim, a Figura 22 representa o impacto dos programas de melhoria em termos de eficiência e volume de produção. Na parte superior da Figura estão os blocos representando a eficiência e o volume de produção, com uma seta em dois sentidos. Essa relação representa a seção (2.4.3), que destaca os efeitos do volume de produção na eficiência. Com base nas relações apresentadas na Figura 22, podem ser formuladas as seguintes hipóteses de pesquisa:

H1: A melhoria contínua impacta a eficiência.

H2: A melhoria contínua impacta o volume de produção.

H3: O volume de produção impacta a eficiência.

Essas hipóteses serão abordadas em profundidade nas próximas seções. Após essa síntese, serão apresentados, no capítulo seguinte, os aspectos importantes em relação ao método de pesquisa utilizado.

3 MÉTODO DE PESQUISA

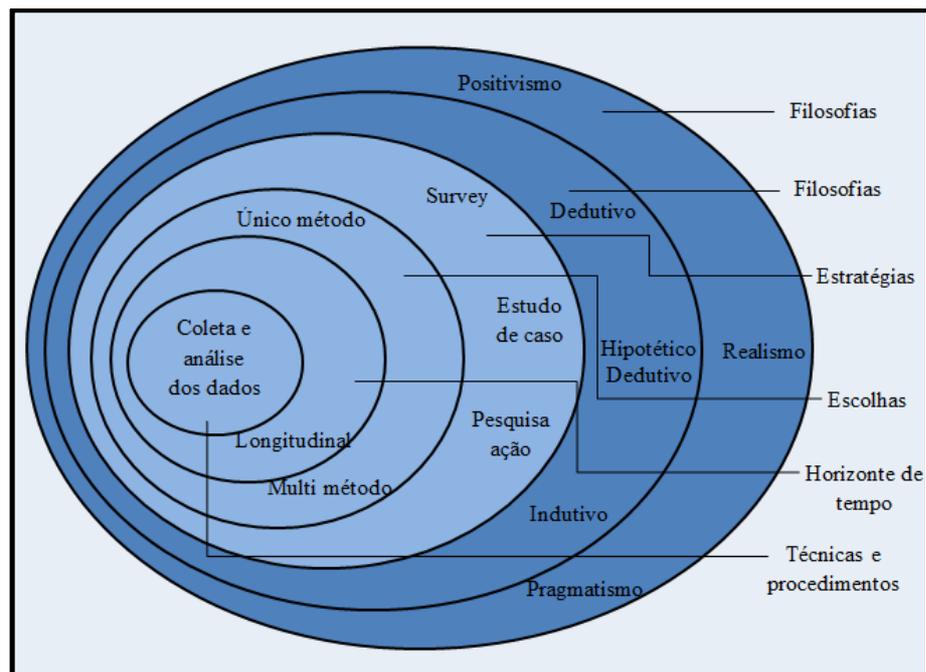
Neste capítulo são descritos os procedimentos e as etapas utilizadas para realização desta pesquisa. Entre estes estão a classificação, a amostragem, a coleta de dados e a forma como esses dados foram organizados para posterior análise dos resultados.

Segundo Marconi e Lakatos (1991, p. 39) “[...] não há ciência sem o emprego de métodos científicos”. Para Dresch (2013), a definição do método de pesquisa é importante para auxiliar o pesquisador no processo de investigação do seu problema de pesquisa.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento de uma pesquisa refere-se ao planejamento do estudo em uma dimensão mais ampla, no que se refere à previsão, análise e interpretação da coleta dos dados. Essa concepção tem como principal objetivo considerar o ambiente em que os dados foram coletados, analisando as formas de controle das variáveis envolvidas e o procedimento adotado para coleta desses dados. (GIL, 2002). A Figura 23 apresenta a lógica da cebola, que realiza uma abordagem abrangente sobre o desenvolvimento e a natureza do conhecimento.

Figura 23 - A lógica da Cebola



Fonte: Adaptado de Saunders, Lewis e Thornhill. (2009, p. 108).

A filosofia de pesquisa representada na Figura 23 contém suposições importantes sobre a forma com que o pesquisador vê o mundo. Esses pressupostos irão apoiar a estratégia de pesquisa e os métodos a serem escolhidos como parte dessa estratégia. A presente pesquisa utiliza a abordagem positivista. O movimento positivista enfatiza a ciência e o método científico como única fonte de conhecimento, estabelecendo distinção entre fatos e valores. (RICHARDSON, 1999). Do mesmo modo, o positivismo consiste em uma doutrina filosófica que valoriza o método experimental e quantitativo. (COSTA; COSTA, 2001).

Além disso, a pesquisa utiliza o método hipotético-dedutivo. Para Marconi e Lakatos (1991), tal método consiste na construção de conjecturas que devem ser submetidas a testes, os mais diversificados possíveis, à crítica intersubjetiva e ao confronto com os fatos, para verificar quais hipóteses resistem às tentativas de refutação e falseamento. Karl Popper (1975) apresenta o método hipotético-dedutivo como um meio para desenvolver um método científico adequado para a busca da verdade. (MARCONI; LAKATOS, 1991).

Contudo, a pesquisa também é classificada como um estudo de caso, pois apresenta detalhes de um ou poucos objetos de pesquisa. Segundo Costa e Costa (2001, p. 62), um estudo de caso se constitui como “um estudo limitado a uma ou poucas unidades, que podem ser uma pessoa, uma família, um produto, uma instituição, uma comunidade ou mesmo um país [...]”. Nesses termos, pode-se concluir que um estudo de caso representa um trabalho aprofundado e detalhado sobre determinado objeto de pesquisa.

Para Yin (2001, p. 32), “Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. Para Eisenhardt (1989) os estudos de caso são caracterizados por uma combinação de métodos de coleta de dados, como entrevistas, questionários, observações, etc., podendo ser de natureza quantitativa ou qualitativa. O autor afirma que o estudo de caso tem como objetivo descrever um fenômeno, testar uma teoria e, por fim, criar uma teoria. No entanto, para que um estudo de caso alcance seus objetivos, necessita seguir algumas etapas essenciais de condução. No Quadro 17, são apresentadas as principais atividades que permitem que o estudo de caso alcance seus propósitos.

Quadro 17 – Condução do estudo de caso

Atividades	Ações
Definição da estrutura conceitual teórica	<ul style="list-style-type: none"> • Mapear a literatura existente acerca do tema; • Delinear as proposições e demarcar os limites da investigação;
Planejar o(s) caso(s)	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar as unidades de análise e os contatos; • Definir os meios de coleta e análise de dados; • Elaborar o protocolo para coleta de dados; • Definir meios de controle da pesquisa;
Conduzir o teste piloto	<ul style="list-style-type: none"> • Testar os procedimentos de aplicação; • Verificar a qualidade dos dados coletados; • Fazer os ajustes necessários;
Coletar os dados	<ul style="list-style-type: none"> • Contatar e solicitar autorização dos casos a serem estudados; • Registrar os dados coletados; • Limitar a atuação do pesquisador a um observador, buscando abster-se de dar opiniões;
Analisar os dados	<ul style="list-style-type: none"> • Produzir uma narrativa com os dados coletados, buscando agrupá-los segundo similaridade;
Gerar relatório	<ul style="list-style-type: none"> • Desenhar implicações teóricas do estudo; • Promover uma estrutura que permita a replicação do caso.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Cauchick Miguel (2007, p. 221).

Assim, nesses termos, a abordagem para o estudo de caso também pode ser classificada como holística e incorporada de caso único. A pesquisa é enquadrada como holística em função de ocorrer em uma única unidade (manufatura) e incorporada em função de haver três unidades dentro dessa mesma manufatura (três linhas de produção). Contudo, o estudo de caso único é utilizado para determinar se as proposições de uma teoria são corretas ou se outro conjunto alternativo de explicações pode ser mais relevante. (YIN, 2001).

A pesquisa utiliza um único método. Logo, tem como característica a geração de conhecimento para aplicação prática, e sua natureza é aplicada. Nesse contexto, o estudo é classificado como quantitativo com objetivos específicos, propondo a avaliação das mudanças de eficiência operacional de uma unidade produtora. Essa avaliação de eficiência operacional envolve o uso da Análise Envoltória de Dados (DEA). Além disso, a pesquisa tem objetivo explicativo.

Também em função do tipo de avaliação, esta pesquisa pode ser classificada como longitudinal. Tal definição ocorre em função da análise dos dados ser realizada ao longo de determinado tempo, demarcada em períodos específicos de análise (anos). Os estudos longitudinais podem descrever os eventos ao longo do tempo. Nesse caso, são indicados no momento em que as questões de pesquisa e as hipóteses são afetadas pelas variáveis ao longo do tempo.

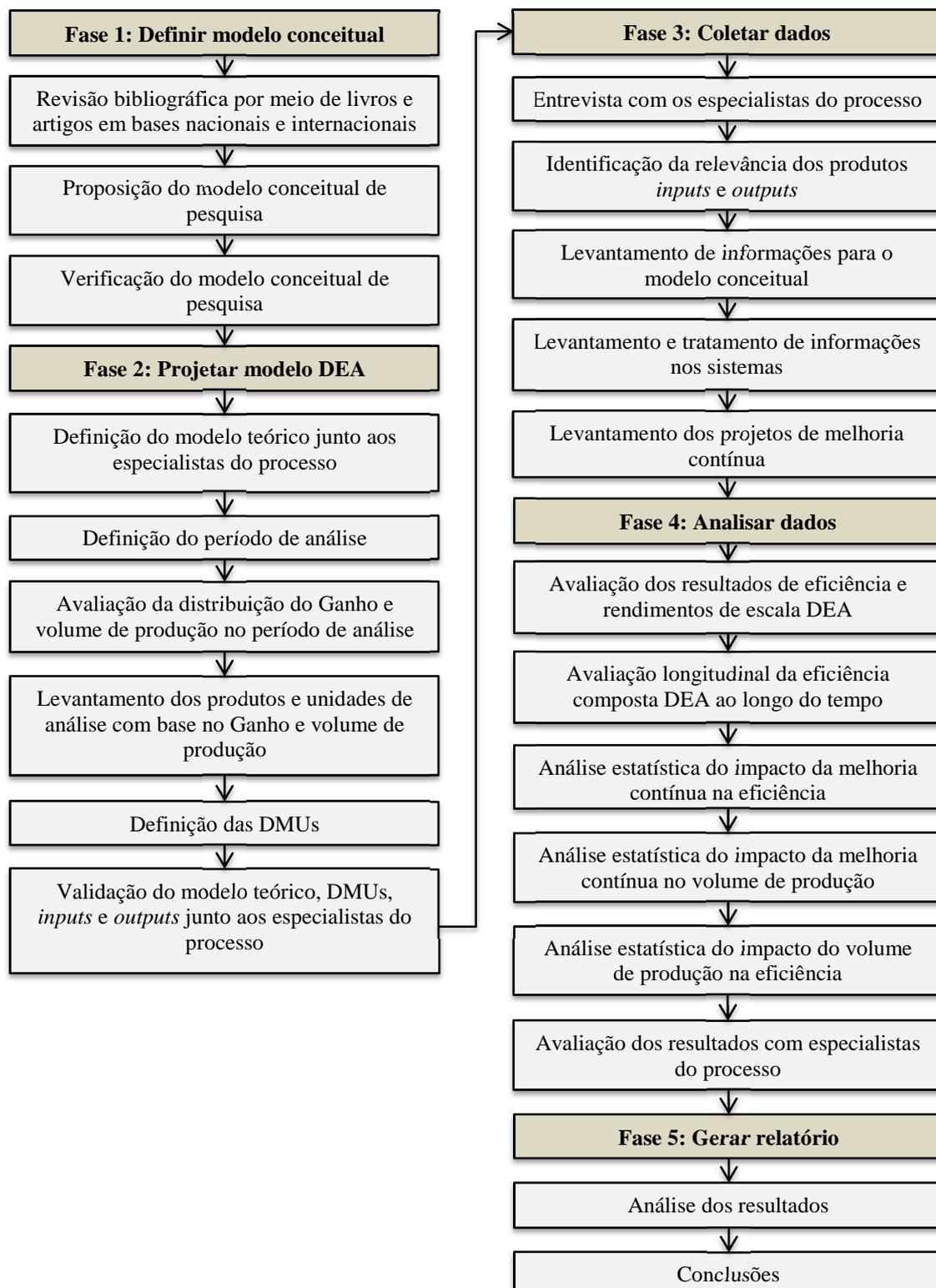
Do mesmo modo, os estudos longitudinais exigem coleta de dados nas mesmas unidades de amostra em vários períodos de tempo. (HAIR et al., 2005). Eles envolvem observações contínuas ou intermitentes com a finalidade de registrar dados que descrevem mudanças em determinado ambiente ou em comportamento de variáveis. (SANTO, 1992, p. 34). A principal limitação das pesquisas que envolvem estudos longitudinais está no fato do pesquisador não controlar as variáveis. (SANTO, 1992). Após a apresentação do método de pesquisa, será explicitado, na seção seguinte, o método de trabalho utilizado.

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

Nesta seção serão apresentados os procedimentos para desenvolvimento do estudo. Marconi e Lakatos (1991, p. 40), destacam que o método de trabalho “[...] é um conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido [...]”. Assim, o método de trabalho foi composto por cinco fases, distribuídas em: definir modelo conceitual, projetar modelo DEA, coletar dados, analisar dados e gerar relatório.

A Figura 24 ilustra as cinco fases descritas no método de trabalho.

Figura 24 - Método de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme descrito na Figura 24, a Fase 1 (definição do modelo conceitual) se refere à revisão sistemática da literatura e à busca nas bases de dados. Essa etapa envolve pesquisas

voltadas à melhoria contínua, à Análise Envoltória de Dados em estudos longitudinais, à manufatura, ao aprendizado, à eficiência e ao volume de produção. Nessa fase o objetivo é gerar um modelo conceitual de pesquisa que possa ser verificado e validado. A estrutura conceitual é apresentada no capítulo 1.

A Fase 2 (projetar modelo DEA) é a etapa em que foi projetado o modelo teórico. Neste, foi definido o período de análise em que a pesquisa foi realizada, com base na disposição dos dados existentes e em informações dos especialistas do processo. Posteriormente, foi avaliada a distribuição do Ganho e o volume de produção da empresa durante o período de análise. Essa etapa é importante para verificar se há diferenças significativas em relação ao Ganho e volume de produção dentro do período analisado.

Ainda na Fase 2, foi realizada a investigação dos produtos e unidades de análise com base no Ganho e no volume de produção. Essa etapa busca identificar os principais produtos para a pesquisa. Logo depois, foram definidas as DMUs (unidades de análise) e seus respectivos *inputs* e *outputs*, necessários para o uso na Análise Envoltória de Dados. Por fim, foi realizada a validação do modelo teórico, das DMUs e de seus respectivos *inputs* e *outputs* junto aos especialistas do processo. Tal validação é uma importante etapa da pesquisa. Segundo Pidd (1998), a validação de um modelo consiste em uma relevante questão na modelagem em ciências administrativas, portanto, não deve ser ignorada. Logo, para esse modelo ser válido, é necessário verificar se o seu comportamento e o do mundo real ocorrem sob as mesmas condições. (PIDD, 1998). A Fase 2 é apresentada no capítulo 4.

Na Fase 3 (coleta de dados) foram realizadas entrevistas com os especialistas do processo com o objetivo de avaliar e validar as variáveis relevantes do processo para uso na Análise Envoltória de Dados. Oliveira (2008) e Ferreira e Gomes (2009) destacam a importância desses especialistas para a coleta das variáveis relevantes. Assim, nessa etapa foram avaliados os dados referentes aos insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) de maior relevância para a pesquisa, para posterior aplicação no modelo conceitual. Do mesmo modo, foram verificadas quais eram as principais linhas de produção da empresa e suas condições de operação. Em seguida, foi realizada a coleta e efetuado o tratamento das informações nos sistemas da empresa, com a utilização de planilhas de controle e acompanhamento da produção. Posteriormente, foram averiguados os projetos de melhoria contínua realizados durante o período de análise. Nessa etapa, buscou-se avaliar os projetos específicos para cada linha de produção, verificando quais eram os objetivos propostos por cada um deles. A Fase 3 também é apresentada no capítulo 4.

A Fase 4 (análise dos dados) iniciou com a avaliação dos resultados obtidos por meio da Análise Envoltória de Dados. Nessa etapa, foram avaliados as eficiências e o rendimento de escala de cada uma das DMUs. O rendimento de escala contribuiu para averiguar se a DMU está operando em uma escala eficiente ou ineficiente. O cálculo da eficiência DEA foi importante para posterior avaliação do efeito dos projetos de melhoria e aprendizado na eficiência ao longo do tempo. Com isso, foi verificado o comportamento da eficiência composta ao longo do tempo e sua respectiva reta de tendência. A partir da reta de tendência, buscou-se identificar a possível existência de indícios em relação aos benefícios dos projetos de melhoria e aprendizado ao longo do tempo. A eficiência composta foi utilizada em função de aumentar o poder de discriminação das DMUs. Yamada, Matui e Sugiyama (1994) propõem o cálculo da fronteira invertida para formar a eficiência composta. Por meio do uso da fronteira composta é possível aumentar o poder de discriminação das DMUs empatadas com eficiência igual a 1.

Em seguida, foram identificadas as DMUs de referência (*benchmark*) e seus respectivos alvos. Nessa etapa, foram avaliadas as DMUs com melhores práticas operacionais e também a ineficiência dos insumos das com menor eficiência VRS. Com a identificação dos alvos, foi possível eleger quais foram os insumos (*inputs*) de pior eficiência e avaliar o efeito dos projetos de melhoria sobre esses insumos ineficientes. Logo após, foi realizada a análise estatística em relação à média da eficiência composta obtida em cada ano de análise. O objetivo dessa etapa consiste em verificar se a média da eficiência composta em cada ano possui diferença estatística significativa e, com isso, avaliar se a inclinação da reta de tendência da eficiência composta é significativa ou não.

Posteriormente, foi realizada a análise estatística com base na tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção. A principal finalidade dessa etapa consiste em avaliar o impacto das ações de melhoria contínua e aprendizado na eficiência composta. Logo, a análise contribui para identificar quais dessas ações possuem maior efeito na eficiência ao longo do tempo. Do mesmo modo, a análise estatística foi realizada em relação ao impacto das ações de melhoria no volume de produção, identificando quais ações refletem maior efeito no quesito em questão. A abordagem da tríade se encerra com a análise estatística sobre o impacto do volume de produção na eficiência. Logo, tal avaliação é importante no sentido de contribuir para a resposta do problema de pesquisa. Em seguida, realizou-se uma nova entrevista com os especialistas do processo para avaliação e conclusão dos resultados. A Fase 4 é apresentada, em detalhes, nos capítulos 5 e 6.

A última Fase do método de trabalho, Fase 5 (gerar relatório), foi a análise dos dados obtidos, fase que foi dividida nas etapas de análise dos resultados e de conclusões. Essa fase contribui para uma reflexão dos resultados da pesquisa e de possibilidade de trabalhos futuros. A Fase 5 é apresentada nos capítulos 6 e 7. Na seção seguinte, são apresentados os procedimentos que foram utilizados para coleta de dados nos períodos de análise ao longo do tempo.

3.3 COLETA DE DADOS

A seção apresenta os procedimentos utilizados para coleta de dados (Fase 3). Oliveira (2008) destaca a importância dos especialistas do processo para a avaliação das variáveis relevantes para uso na Análise Envoltória de Dados. Para seleção das variáveis, insumos e produtos, é necessário ter um conhecimento profundo da atividade em análise. Contudo, isso pode ocorrer mediante a consulta de um especialista no setor, no ramo ou na atividade de procedência das variáveis (insumos e produtos) relevantes para o processo. (FERREIRA; GOMES, 2009). Primeiramente, questionou-se os profissionais mais experientes da empresa em relação ao processo de fabricação e às variáveis mais significativas para análise. Dentre eles, consultou-se um engenheiro de produção, um engenheiro de produto, um engenheiro de processos e um técnico de processos. No Quadro 18 estão relacionados os principais profissionais especialistas do processo de fabricação.

Quadro 18 – Principais conhecedores do processo de fabricação

Função	Atribuições para levantamento das informações	Tempo de empresa (anos)
Eng. de Produção	Responsável pelo levantamento de dados dos principais projetos	14
Eng. de Produto	Responsável por indicar quais atributos são mais relevantes na fabricação dos produtos	14
Eng. de Processos	Responsável pelo levantamento de dados dos principais processos de fabricação	15
Técnico de Processos	Responsável pelo levantamento de dados no banco de dados do laboratório	10

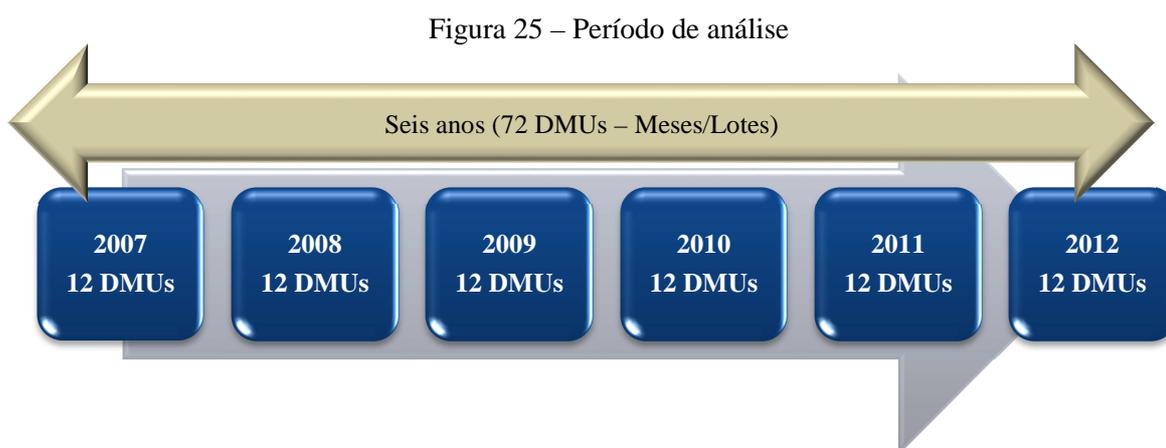
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os profissionais foram escolhidos em função de experiência, formação e tempo de empresa. Além disso, representam a equipe técnica de manufatura. Têm experiência internacional em empresas do mesmo segmento e participam do desenvolvimento de novos produtos e processos com elevado grau de complexidade.

Após a identificação dos especialistas do processo, foram realizadas entrevistas com eles para avaliação dos dados referentes aos insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) de maior relevância para a pesquisa. Após, foram verificados os dados disponíveis nos sistemas da empresa e as planilhas de acompanhamento da produção. Com o resultado dessa análise, foi possível obter dados completos dos insumos e produtos que representam um período de seis anos consecutivos. Durante tal período, não houve sazonalidades em relação às linhas de produção da manufatura. Os volumes produzidos a cada ano tiveram pouca variação. Além disso, foi realizada uma sondagem dos projetos de melhoria contínua efetuados durante o mesmo período de seis anos.

Um aspecto interessante de se observar nesse caso diz respeito à importância da construção de um modelo conceitual robusto capaz de representar a realidade. Nesse aspecto, a contribuição dos especialistas do processo foi essencial. Segundo Pidd (1998), um modelo conceitual ruim conduz a resultados incompatíveis com a realidade, ou seja, sem utilidade para a pesquisa.

Nesses termos, foi definido o período de análise, que totalizou seis anos. Esse período tem início no momento em que os dados das variáveis passaram a ser controlados e disponibilizados de forma acessível para consulta e termina no último ano em que os dados encontravam-se completos e disponíveis. A Figura 25 mostra o período de análise e a respectiva duração.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a definição do período de análise, foi iniciado o trabalho para definir e formar as DMUs com base longitudinal no período de seis anos de análise dos dados. Cada tipo de produto é produzido uma única vez por mês. Do mesmo modo, o lote de produção de um

determinado produto é produzido pelo período de um mês. Assim, para formação das DMUs, foi considerado o lote mensal em que um determinado tipo de produto foi produzido. Logo, a avaliação do lote mensal é importante para a empresa no sentido de comparar os resultados desta avaliação com os indicadores já utilizados por ela. Por outro lado, pode ser analisado qual mês (lote) teve o melhor ou pior resultado em relação à eficiência.

A análise foi realizada de maneira independente, ou seja, para cada linha de produção de um único e mesmo tipo de produto, sem compartilhar recursos entre as linhas. Os modelos foram codificados com o objetivo de não expor informações importantes referentes à operação e ao negócio da empresa. Nesse sentido, foram codificados da seguinte forma: C1, C2,..., Cn. Os critérios para verificação do grau de importância de cada tipo de produto foram: Ganho (preço – custo totalmente variável), (GOLDRATT, 1991) e volume de produção. Nesse caso, foi levantado qual o Ganho de determinado tipo e qual o percentual do volume total de produção que ele representa. Esse procedimento possibilitou a identificação dos produtos de maior relevância, visando restringir o universo de análise.

Para levantamento e avaliação da relevância dos dados, foi necessária a participação dos especialistas do processo. A sequência dos procedimentos utilizados nas fases projetar modelo DEA e coletar dados está apresentada na Figura 26.

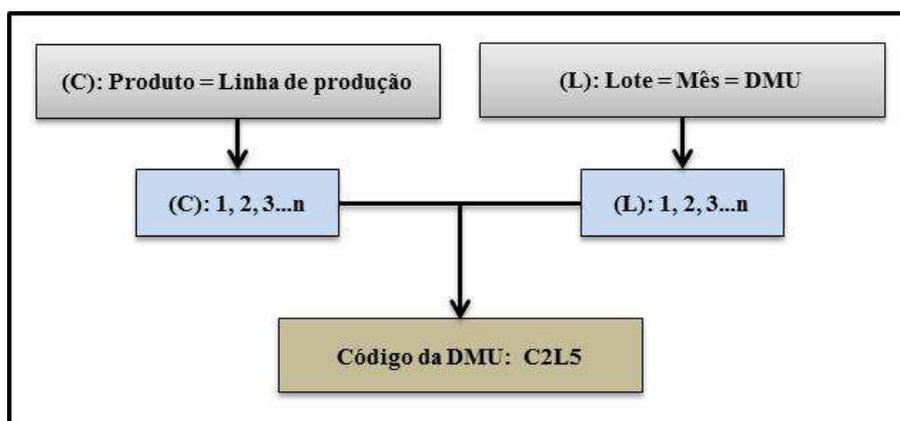
Figura 26 – Procedimentos das fases projetar modelo DEA e coletar dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da quantidade de *inputs* e *outputs* foi utilizado o critério proposto por Golany e Roll (1989) em que o número de DMUs deve ser no mínimo três vezes maior do que a soma do número de *inputs* e *outputs*, ou seja, $n \geq \max \{m \times s; 3(m + s)\}$, onde: n = número de DMUs, m = número de *inputs* e s = número de *outputs*. Ao seguir essa regra, busca-se evitar o problema de falta de discriminação do modelo. A Figura 27 mostra como foram formadas as DMUs, sendo que o produto (C) representa a linha de produção que produz um determinado tipo de produto, e o lote (L) é o lote mensal de produção de um determinado tipo de produto.

Figura 27 – Organização das unidades de análise (DMUs)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme modelo exposto na Figura 27, a DMU de código C2L5 indica que ela se refere ao produto produzido na linha 2, sendo o quinto lote de produção desse produto no quinto mês desde o momento em que se iniciou a análise. A sequência de procedimentos indicados na Figura 26 com o número 3 (exceto os procedimentos 3.13 e 3.14) mostra o tratamento dos *inputs* e *outputs* das DMUs em análise. Nesse processo foi realizado o levantamento dos principais insumos que compõem o custo totalmente variável dos produtos, juntamente com a indicação das principais variáveis relatadas pelos profissionais especialistas no processo. O Quadro 19 apresenta a descrição e o detalhamento dos insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) utilizados na pesquisa.

Quadro 19 - Descrição e detalhamento dos *inputs* e *outputs* utilizados na pesquisa

Variável	Descrição	Nome	Unidade
Inputs e outputs utilizados nas linhas C1 e C2			
<i>Input1</i>	Tempo (h): consiste no tempo utilizado em horas para a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Tempo	h
<i>Input2</i>	Case (pç): representa o número total de peças de cases consumidos durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Case	pç
<i>Input3</i>	Pellets (kg): representa o número total de quilogramas de pellets consumidos durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Pellets	kg
<i>Input4</i>	Propulsante (kg): representa o número total de quilogramas de propulsante consumidos durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Propulsante	kg
<i>Input5</i>	Ferramenta (pç): representa o número total de peças de ferramentas consumidas durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Ferramenta	pç
<i>Input6</i>	Principiador (pç): representa o número total de peças de principiadores consumidas durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Principiador	pç
Output1	Produto acabado (pç): representa o número total de peças de um determinado modelo de produto produzido em um lote durante o período de um mês.	Produto acabado	Pç
Inputs e outputs utilizados na linha C3			
<i>Input1</i>	Tempo (h): consiste no tempo utilizado em horas para a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Tempo	h
<i>Input2</i>	Case (pç): representa o número total de peças de cases consumidos durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Case	pç
<i>Input3</i>	Ferramenta (pç): representa o número total de peças de ferramentas consumidas durante a produção de um lote de um determinado produto durante o período de um mês.	Ferramenta	pç
Output1	Produto acabado (pç): representa o número total de peças de um determinado modelo de produto produzido em um lote durante o período de um mês.	Produto acabado	pç

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo utilizado foi BCC (VRS) em função de não haver relações proporcionais entre produtos e insumos. Além disso, a orientação empregada foi para *input*, em função de não existir restrições no processo produtivo da empresa. Após a conclusão dos dois levantamentos (especialistas e principais insumos), as variáveis foram codificadas de maneira a não expor informações confidenciais da empresa. Os principais insumos serão designados como *input1*, *input2*, *input3*..., *input n*.

Na etapa 3.5 da Figura 26, foi verificado o grau de importância de cada *input* com base na sua participação no custo totalmente variável do produto, seguindo a lógica da teoria das restrições proposta por Goldratt (1991). Em seguida, na etapa 3.6, foram comparados os *inputs* selecionados pelos especialistas do processo juntamente com a lista dos principais insumos classificados por relevância no custo variável total. O objetivo dessa etapa foi

identificar alguma possível divergência entre os dois levantamentos. Em seguida, na etapa 3.7, os *inputs* foram classificados por ordem de maior relevância, com base no custo variável total. Na próxima etapa, 3.8, foi selecionada a quantidade e quais seriam os *inputs* utilizados considerando o critério do número de DMUs ser três vezes maior do que a soma do número total de *inputs* e *outputs*.

Na etapa seguinte, 3.9, as variáveis utilizadas no modelo foram validadas pelos especialistas do processo. Após esse passo, os dados foram levantados no banco de dados da organização, principalmente no ERP da empresa SAP®, no banco de dados do laboratório, no banco de dados do setor de planejamento e controle da produção (PCP) e no banco de dados da gerência da produção (etapa 3.10). Após o levantamento e organização dos dados, a próxima etapa foi a sua análise e avaliação. (etapa 3.11).

Posteriormente, os dados foram organizados para inclusão nos aplicativos de análise (etapa 3.12). Por fim, foram levantadas as informações referentes aos projetos de melhoria contínua e aprendizagem, distribuídos por linha de produção (etapas 3.13 e 3.14). A Tabela 3 apresenta, de forma quantitativa, o total de variáveis utilizadas em cada linha de produção (aqui são consideradas somente as linhas relevantes para a pesquisa), incluindo as variáveis relacionadas à melhoria contínua e ao volume de produção, num período de seis anos de análise.

Tabela 3 - Quantidade de variáveis utilizadas para as linhas C1, C2 e C3 durante o período de seis anos

Relações	Variáveis estudadas	Linha C1	Linha C2	Linha C3
Melhoria contínua	Número de A3	5	10	5
	Número de <i>Kaizen</i>	9	42	38
	Horas de treinamento (horas)	77,5	65,5	63,5
	Tempo médio de permanência dos funcionários (anos)	6,06	5,67	4,97
Volume de produção	Volume de produção	44.963.200	33.516.304	18.936.091

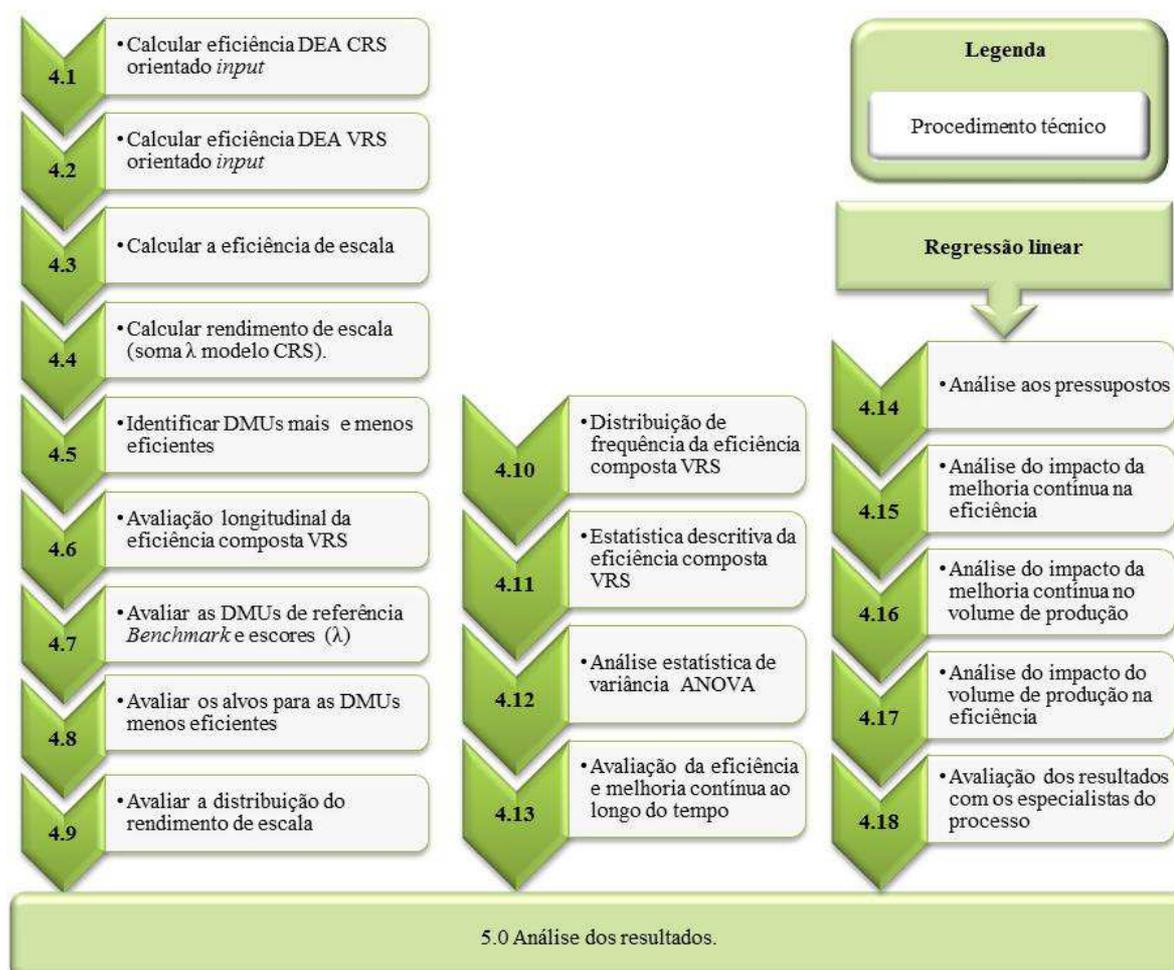
Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os projetos de melhoria contínua, foram levantados os números totais de projetos A3, de *Kaizen*, de horas de treinamento e de tempo médio de permanência dos funcionários. As informações investigadas foram utilizadas para avaliar o impacto dos projetos de melhoria na eficiência de cada linha de produção estudada. Os dados referentes aos objetivos dos principais projetos de melhoria estão descritos no capítulo 4 – empresa analisada operacionalização do modelo DEA. Na próxima seção, serão apresentadas a análise e a avaliação dos dados, assim como os procedimentos técnicos utilizados nessas etapas.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Após o levantamento dos dados, foi iniciado o processo de análise e avaliação. Essas etapas foram organizadas e detalhadas conforme Figura 28. Os dados levantados foram lançados no aplicativo SIAD v 3.0 para cálculo do desempenho de cada uma das DMUs. Tal aplicativo é desenvolvido por um grupo de pesquisadores brasileiros da Universidade Federal Fluminense (UFF). Para análise estatística, foi utilizado o aplicativo SPSS. A Figura 28 apresenta os detalhes das etapas a serem realizadas no procedimento de análise dos dados.

Figura 28 – Procedimento da fase análise dos dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

O procedimento inicial foi o cálculo da eficiência com o uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) com retornos constantes de escala (CRS), orientado para *input* (etapa 4.1). Logo, na etapa 4.2, foi calculada a eficiência utilizando o modelo com retorno variável de escala (VRS). O modelo VRS com orientação para *input* possibilita a verificação da eficiência

relativa de cada um dos *inputs* utilizados para avaliar qual das variáveis possui mais influência na eficiência da DMU. Os dois tipos de cálculo empregando os modelos CRS e VRS foram necessários para permitir a realização do cálculo da eficiência de escala (etapa 4.3). Conforme Ferreira e Gomes (2009), a eficiência de escala consiste no quociente da eficiência CRS pela eficiência VRS. Por meio da eficiência de escala foi possível identificar as DMUs eficientes. Estas foram as que tiveram rendimento de escala constante.

Nessa avaliação também foi apresentado o cálculo do rendimento de escala (etapa 4.4) gerado após o cálculo da eficiência de escala, utilizando a soma dos escores λ das DMUs em destaque (*benchmarking*) no modelo CRS para cada uma das DMUs. No cálculo da eficiência VRS, foram utilizados os valores de eficiência da fronteira invertida e composta. O cálculo da fronteira invertida é necessário para aumentar a discriminação entre as DMUs “empatadas” com eficiência igual a 1. Com isso, a fronteira invertida foi utilizada para calcular a eficiência composta. Posteriormente, o procedimento 4.5 teve o objetivo de identificar as DMUs de maior e menor eficiência. As eficientes foram as que tiveram um rendimento de escala constante (igual a 1). As ineficientes foram as que tiveram os menores valores de eficiência no modelo VRS.

O motivo da utilização do modelo VRS como critério foi a característica dos dados e do processo de não apresentar relações lineares de escala. Além disso, foi utilizada a orientação para *input* em função da inexistência de gargalos nos sistemas produtivos. As eficiências calculadas com base nas fronteiras invertida e composta foram utilizadas para avaliar as DMUs eficientes e não eficientes numa perspectiva pessimista. Logo, essa perspectiva contribui para uma melhor abordagem dos efeitos da melhoria contínua na eficiência.

No procedimento 4.6 foi avaliada graficamente a reta de tendência que indica a evolução da eficiência composta VRS para cada linha de produção ao longo do tempo. O motivo da utilização da eficiência composta foi aumentar a discriminação das DMUs eficientes “empatadas em 100% de eficiência”. Yamada, Matui e Sugiyama (1994) propõem o cálculo da fronteira invertida. Esta é utilizada juntamente com a fronteira padrão para formar a eficiência composta.

Barreto e Mello (2012) apresentam o índice de eficiência composta constituído pela média aritmética entre a eficiência padrão e a eficiência invertida. Entretanto, observou-se que mesmo calculando a eficiência composta, o índice não apresentou suficiente discriminação entre as DMUs. A variabilidade das eficiências foi relativamente baixa para todas as linhas de produção avaliadas, principalmente as C1 e C2. Os autores também alertam que com o aumento de amostragem, existe uma tendência de se reduzir a média dos *scores* de eficiência da amostra, isso em função do maior número de DMUs.

O coeficiente angular da reta de tendência contribui para identificar qual foi o desempenho da eficiência composta VRS para cada linha de produção ao longo do tempo. A declividade ($\alpha > 0$) indica aumento da eficiência ao longo do tempo; a declividade ($\alpha < 0$) indica redução da eficiência ao longo do tempo; a declividade ($\alpha = 0$) significa que a eficiência não foi alterada ao longo do período de análise. (GILSA, 2012). Os resultados da análise gráfica (reta de tendência) não determinam se a variação de eficiência foi ou não significativa, apenas apresentam indícios. Para complementar essa investigação, foi utilizado o teste de análise de variância ANOVA para cada linha de produção. Com esse teste, foi possível verificar se houve ou não diferença na eficiência composta em cada ano analisado, ou seja, avaliar se a declividade da reta de tendência é significativa ou não.

No procedimento 4.7 foram avaliados os escores λ de *benchmarking* das DMUs no modelo VRS. Essa avaliação possibilitou identificar as DMUs que devem ser consideradas como referência para as não eficientes, assim como descobrir para quantas unidades ineficientes uma DMU eficiente é referência. Para as de menor eficiência, no procedimento 4.8 calcularam-se os alvos para os *inputs*. Todos os valores dos alvos foram associados aos escores λ das DMUs de referência (*benchmarking*). Esses são os valores alvo que tornaram as DMUs ineficientes em DMUs eficientes, mostrando qual foi o consumo excessivo de cada um dos *inputs* da DMU ineficiente.

Na etapa 4.9 foi avaliada a distribuição do rendimento de escala para cada uma das linhas de produção estudadas. Por meio dessa ação, foi possível identificar o percentual de escala eficiente e ineficiente em que cada uma delas operou durante o período de análise. No procedimento 4.10, foi realizada a distribuição de frequência da eficiência composta VRS para as linhas avaliadas durante o período de seis anos. Essa etapa teve o objetivo de verificar variações e intervalos nos quais ocorreram as maiores e menores eficiências para cada linha.

O procedimento 4.11 analisou a estatística descritiva da eficiência composta VRS durante o período de seis anos para cada linha de produção. O objetivo foi verificar qual delas teve a maior média de eficiência. Além disso, foram efetuadas medidas de variabilidade (desvio padrão) de valores máximos e mínimos de eficiência de cada linha de produção. A etapa 4.12 realizou a análise estatística de variância ANOVA. Este é um teste paramétrico equivalente ao teste *t*. No entanto, a ANOVA se diferencia em relação ao teste *t* por ter a capacidade de analisar três ou mais condições. Por se tratar de um teste paramétrico também é necessário que seus dados sejam originados de uma distribuição normal. (DANCEY; REIDY 2006). O termo ANOVA significa *Analysis of Variance* (Análise de Variância) e constitui um teste para verificação das médias de duas ou mais populações ou amostras.

A hipótese nula h_0 , quando verdadeira, indica que não existe diferença entre as médias das amostras. (HAIR et al., 2005). A condição de significância que valida as hipóteses h_0 e h_1 , é dependente do valor p -value obtido no teste. Um valor p -value significativo deve ser menor ou igual a 0,05. A aplicação da ANOVA em apenas duas condições gera resultados equivalentes aos que seriam obtidos pelo teste t . (DANCEY, REIDY 2006). Nesta pesquisa, a ANOVA foi utilizada para verificar se existem ou não diferenças significativas entre as médias de eficiência em cada um dos seis anos analisados para cada linha de produção.

O procedimento 4.13 realizou uma avaliação gráfica da eficiência composta VRS em conjunto com as variáveis relacionadas à melhoria contínua ao longo do tempo. A averiguação foi realizada por meio de gráficos que indicaram indícios das variações de eficiência em função do impacto das variáveis relacionadas à melhoria contínua. O procedimento 4.14 realizou a análise aos pressupostos, que foi necessária para a realização do teste de regressão linear. O teste de regressão linear tem o objetivo de avaliar as relações da tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção e é um importante meio para responder a questão de pesquisa. O Quadro 20 apresenta uma breve descrição de cada um dos pressupostos indicados na literatura para avaliação da análise de regressão linear.

Quadro 20 - Definição dos principais pressupostos na análise de regressão linear

Pressuposto	Definição	Condições
Normalidade dos resíduos	A distribuição dos resíduos gerados em todo o intervalo de observações deve apresentar uma distribuição normal. O teste utilizado para avaliar a normalidade dos dados foi <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .	H0: os dados são normais. H1 os dados não são normais.
Homocedasticidade dos resíduos	O conjunto de resíduos referentes a cada observação de X deve ter variância constante em toda a extensão das variáveis independentes. O teste utilizado para avaliar a homocedasticidade dos resíduos foi <i>Pesarán-Pesarán</i> .	H0: os resíduos são homocedásticos. H1 os resíduos não são homocedásticos.
Ausência de autocorrelação serial/espacial nos resíduos	O resíduo deve ser independente entre e X_t e X_{t-1} . O teste utilizado para avaliar a autocorrelação dos resíduos foi <i>Durbin-Watson</i> .	Regra: valores próximos a 2 atendem o pressuposto.
Multicolinearidade entre as variáveis independentes	A multicolonearidade ocorre quando duas ou mais variáveis independentes contém informações semelhantes em relação a variável dependente.	VIF de 1 até 10 multicolinearidade aceitável.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Corrar et al. (2007) e Gujarati (2011).

Segundo Corrar et al. (2007), a análise multivariada necessita de testes de suposições para as variáveis separadas e em conjunto. Logo, para uma aplicação apropriada da análise de regressão linear é preciso o cumprimento de um conjunto de pressupostos. Dentre eles estão: normalidade dos resíduos, homoscedasticidade dos resíduos, ausência de autocorrelação serial

nos resíduos e multicolinearidade entre as variáveis dependentes. (CORRAR et al., 2007; GUJARATI, 2011).

Corrar et al., (2007) alertam que no caso de violação aos pressupostos deverão ser feitas transformações nas variáveis ou na composição da amostra, ou então, aumento do tamanho da amostra ou retirada de *outliers*. Essas modificações buscam corrigir a violação ao pressuposto. (CORRAR et al., 2007). Os procedimentos 4.1 a 4.13 foram realizados para o período de seis anos de análise de forma independente para cada linha de produção. Isso porque o objetivo dessas etapas do estudo é avaliar os lotes/meses dentro de um período de tempo.

Para a avaliação do processo de aprendizado e melhoria contínua ao longo do tempo, foi realizado o teste estatístico de regressão linear múltipla (etapas 4.15, 4.16). Esse recurso foi utilizado em função de ser uma técnica bastante utilizada em pesquisas acadêmicas e nas áreas de negócios, principalmente com o propósito de testar relações. (CORRAR et al., 2007). Para execução desse teste, foram levantados as variáveis e os projetos realizados pela empresa referentes à melhoria contínua e avaliados em conjunto com a eficiência composta VRS.

O objetivo da regressão linear consiste em identificar qual das variáveis referentes à melhoria contínua tem maior impacto no resultado da eficiência composta VRS e no volume de produção. Além disso, observa o poder explicativo desse conjunto de variáveis. Assim, o teste realiza três abordagens: o impacto da melhoria contínua na eficiência, o impacto da melhoria contínua no volume de produção e o impacto do volume de produção na eficiência. As análises são realizadas para cada linha de produção.

O objetivo da regressão consiste em avaliar o efeito linear de uma variável (x) independente em outra variável (y) dependente. (DANCEY; REIDY 2006). Corrar et al. (2007) destacam que a regressão linear múltipla é uma técnica estatística que permite analisar a relação entre uma única variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. A condição de significância que valida as hipóteses h_0 e h_1 , é dependente do valor *p-value* obtido no teste. Esta pesquisa utiliza como nível de significância para as análises dos testes estatísticos o valor de 95%. Quanto ao resultado do teste de regressão linear, Dancey e Reidy (2006) destacam as principais saídas a serem analisadas em uma regressão linear:

- a) correlação entre x e y: o R representa um simples *r* de *Pearson*, na análise de regressão também é conhecido como R múltiplo. Ele indica o grau de correlação entre as variáveis. Essa correlação é importante, pois indica o quão próximo os pontos se agrupam em torno da linha de melhor aderência, logo, a previsão será melhor se a correlação for alta;

- b) variância explicada: é representado por R^2 ; nesse caso, o coeficiente de correlação é elevado ao quadrado para obter uma medida de variância explicada. O mesmo pode ser apresentado sobre percentual de variância explicada da variável dependente pelas variáveis independentes;
- c) R^2 ajustado: ajuda a fornecer uma estimativa mais realista, pois, ao contrário do R^2 , considera os dados da população e não da amostra;
- d) erro padrão: permite uma medida de quão correta a estimativa possa ser. O erro padrão é uma estimativa da variância de y , para cada valor de x .

Para Hair et al., (2009) o coeficiente beta padronizado (β) utilizado na saída da regressão linear múltipla permite uma comparação direta entre os coeficientes referentes aos poderes relativos de explicação da variável dependente. Contudo, o mesmo foi utilizado para avaliar qual variável relacionada à melhoria contínua possui maior poder de explicação para as variações de eficiência composta e de volume de produção. O Quadro 21 apresenta os testes estatísticos utilizados para testar as hipóteses de pesquisa explicitadas na tríade e a hipótese relacionada à eficiência de cada uma das linhas de produção. Os testes foram realizados considerando um período de seis anos, para um nível de significância de 95%.

Quadro 21 - Testes estatísticos aplicados e hipóteses de pesquisa

Linhas de produção	Hipótese de pesquisa	
	Regressão Linear Múltipla	
C1	H1: A melhoria contínua impacta a eficiência.	H1a: Os relatórios A3 impactam a eficiência. H1b: Os <i>Kaizen</i> impactam a eficiência. H1c: As horas de treinamento impactam a eficiência. H1d: O tempo de permanência dos funcionários impacta a eficiência.
C2	H2: A melhoria contínua impacta o volume de produção.	H2a: Os relatórios A3 impactam o volume de produção.
C3		H2b: Os <i>Kaizen</i> impactam o volume de produção. H2c: As horas de treinamento impactam o volume de produção. H2d: O tempo de permanência dos funcionários impacta o volume de produção.
	H3: O volume de produção impacta a eficiência.	
	ANOVA	
	H4: A média de eficiência composta de cada linha de produção, para cada ano, é diferente.	

Fonte: Elaborado pelo autor

Para averiguar os processos relativos à melhoria contínua e aprendizado foi utilizada a eficiência composta VRS devido à sua capacidade de avaliação dos pontos positivos e negativos das DMUs.

Para que as médias e relações sejam consideradas significativamente diferentes, ou seja, para que a hipótese de pesquisa H1 seja verdadeira, o valor *p-value* deve ser significativo, ou seja, menor ou igual a 0,05 (5%). O Quadro 22 apresenta a relação das variáveis dependentes e independentes utilizadas no teste de regressão linear simples e múltipla.

Quadro 22 - Variáveis dependentes e independentes utilizadas no teste de regressão linear

Hipótese de pesquisa	Variáveis dependentes	Variáveis independentes
H1	Eficiência composta VRS	Número de projetos A3
		Número de projetos de <i>Kaizen</i>
		Horas de treinamento
		Tempo médio de permanência dos funcionários (anos)
H2	Volume de produção	Número de projetos A3
		Número de projetos de <i>Kaizen</i>
		Horas de treinamento
		Tempo médio de permanência dos funcionários (anos)
H3	Eficiência composta VRS	Volume de produção

Fonte: Elaborado pelo autor

O teste de regressão linear múltipla é realizado para as hipóteses H1 e H2 em função de utilizar mais de uma variável independente. A hipótese H3 emprega o teste de regressão linear simples, pois possui apenas uma variável independente. A etapa 4.18 conta com a avaliação dos resultados pelos especialistas do processo. Nessa fase, são discutidas as prováveis causas dos resultados. A finalização do modelo está na etapa 5.0, que encerra com a análise dos resultados. Na próxima seção, serão apresentadas as delimitações da pesquisa.

3.5 DELIMITAÇÃO

A delimitação do estudo refere-se à moldura que o autor coloca em seu trabalho. Devido à complexidade da realidade, não se pode analisá-la na totalidade, logo, busca-se tratar apenas de uma parte dela. (VERGARA, 2007, p. 30). Nesse sentido, procurou-se delimitar este trabalho de acordo com os objetivos de pesquisa, procurando não abordar temas que não contemplam os objetos de estudo. Nesta seção, serão apresentadas as delimitações conforme a seguir.

A análise da eficiência não foi realizada para todos os produtos da empresa produzidos no período de avaliação. O estudo foi dirigido a uma única família de produtos da organização. Uma parte significativa de materiais foi desconsiderada na análise por falta de continuidade dos dados nos períodos propostos para o estudo. Nesse sentido, tais produtos ficaram fora da análise desta pesquisa.

A avaliação da eficiência foi conduzida somente em uma das unidades da empresa, não sendo possível aplicá-la em outros setores ou unidades produtivas da mesma organização. Fatores externos referentes à demanda de mercado, a regulamentações do governo ou à concorrência, não foram abordados na pesquisa. Do mesmo modo, não foram consideradas avaliações de retorno sobre investimento ou algum outro modelo de avaliação financeira dos projetos de melhoria.

Também não foi objetivo desta pesquisa abordar temas referentes às políticas de investimento ou à estratégia de negócio da empresa. As medições de eficiência foram exclusivamente voltadas à Análise Envoltória de Dados (DEA), portanto não foram abordadas outras técnicas para o mesmo objetivo.

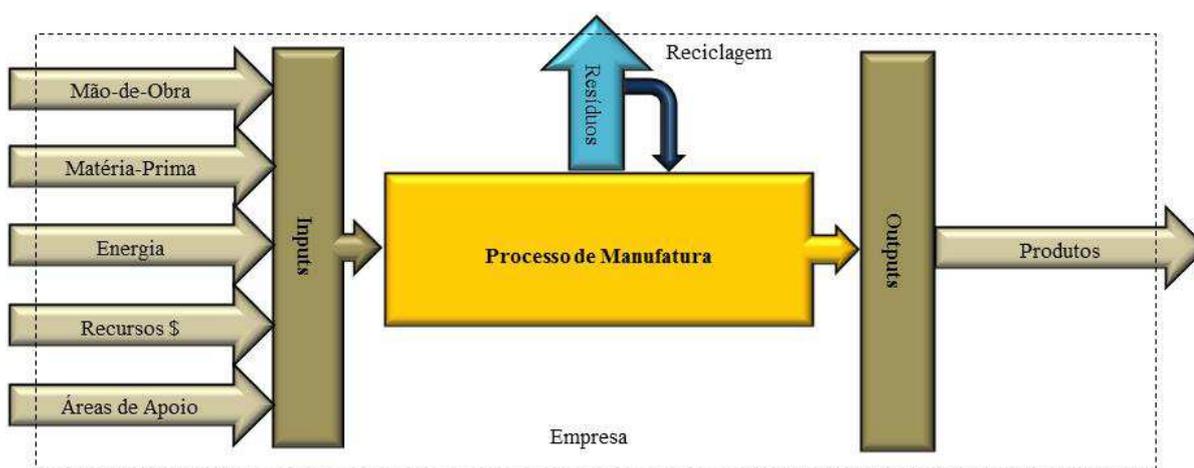
O estudo também fica restrito à abordagem das origens ou causas das eficiências ou ineficiências, mensuradas a partir do estudo longitudinal proposto neste trabalho. Do mesmo modo, aspectos referentes a mudanças no quadro de funcionários ou mudanças de caráter gerencial, não serão abordados.

Para verificação do grau de relevância de cada matéria-prima em relação ao seu custo, verificou-se o consumo médio somente dos últimos 12 meses e o respectivo custo unitário de cada uma das matérias-primas. Dessa forma, as limitações da presente pesquisa foram detalhadas nesta seção. No próximo item, será apresentado o caso de estudo referente à presente pesquisa.

4 EMPRESA ANALISADA OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO DEA

A presente pesquisa foi realizada em uma empresa produtora de produtos para uso esportivo. A Figura 29 apresenta o local da pesquisa (fábrica de produtos esportivos). Nessa representação, estão ilustradas as entradas (*inputs*) de matérias-primas e demais recursos necessários para a produção, assim como as saídas (*outputs*) dos produtos. Além disso, o esquema mostra o processo de manufatura, os resíduos e os resíduos que podem ser reciclados. A planta produz uma ampla variedade de produtos para diversas aplicações. Tais produtos contam com uma ampla diversidade de modelos e aplicações. O intervalo de tempo de produção de um determinado produto é denominado como lote. O lote referente a cada produto corresponde a um mês de produção.

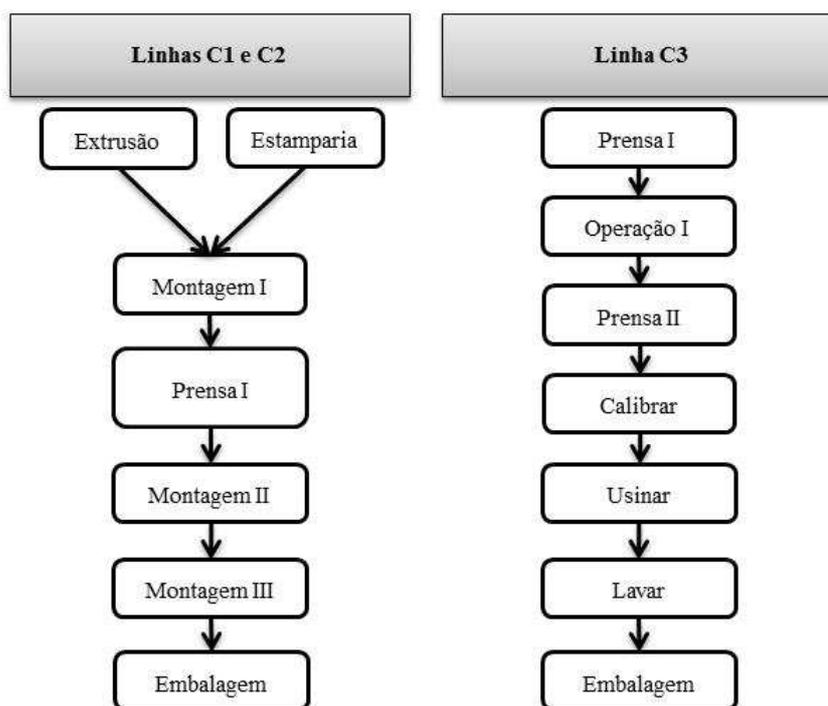
Figura 29 - Macroestrutura da planta em que a pesquisa foi realizada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base no Ganho e no volume de produção, foram avaliados, nesta pesquisa, somente três tipos de produtos produzidos em três linhas independentes que não compartilham recursos. A seção 4.1 aborda em maiores detalhes o levantamento dos produtos e as unidades de análise. A empresa produz duas famílias de produtos: a primeira representa os produtos para uso profissional e a segunda, os produtos para uso em treinamentos. A Figura 30 mostra o processo em resumo, distribuído em duas famílias e três tipos de produtos com suas respectivas linhas de produção. As linhas C1 e C2 pertencem à família do produto para uso profissional e a linha C3 pertence à família do produto para treinamento.

Figura 30 - Linhas de produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira família representa os produtos C1 e C2. A segunda representa o produto C3. O estado de desgaste e obsolescência das linhas C1, C2 e C3 é considerado elevado. Com isso, as intervenções para manutenção são frequentes. A Tabela 4 apresenta o número de intervenções de manutenção realizadas nos últimos dois anos nas linhas C1, C2 e C3.

Tabela 4 - Intervenções de manutenção nas linhas C1, C2 e C3

Linha	Média de intervenções nos últimos dois anos	Média anual	Média mensal	Média semanal
C1	144	72	6	1,5
C2	384	192	16	4
C3	86,4	43,2	3,6	0,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

A linha C1 é mais nova em relação às C2 e C3. A idade média dos equipamentos é de 25 anos. Seu atual estado de conservação é razoável. Entretanto, a linha é obsoleta e depende muito da intervenção dos operadores para manter-se em condições de funcionamento. Já a C2 é uma linha antiga. A idade média dos equipamentos está entre 35 e 76 anos. Ela passou por diversas reformas e adaptações, mesmo assim, existem máquinas da década de 30.

O estado de conservação da linha em questão é inferior em relação às C1 e C3. Contudo, trata-se da unidade que necessita mais intervenções de manutenção. Além disso, possui programação de produção durante todos os meses do ano, não dispondo de tempo para uma reforma geral. Mesmo em condições precárias e elevado grau de obsolescência, a linha C2 atende as demandas exigidas pelo mercado. Do mesmo modo, depende significativamente de intervenção e perícia dos operadores para manter-se em condições de funcionamento.

A linha C3 é a mais antiga da fábrica. A idade média, da linha inteira, é de 76 anos. Entretanto, seu estado de conservação é bom, pois recebeu melhorias importantes que contribuíram para redução de quebras de ferramenta, refugos e tempo de *setup*. Além disso, a linha tem elevada sensibilidade em relação à matéria-prima utilizada. Pequenas variações de insumos representam perdas significativas no processo. Para funcionar bem, necessita de um controle rigoroso no recebimento das matérias-primas. Assim, como as linhas C1 e C2, a C3 depende significativamente de intervenção e perícia dos operadores para manter-se em condições de funcionamento.

Assim, nesses termos, as abordagens feitas sobre as três linhas a serem estudadas nesta pesquisa mostram que as mesmas apresentam uma condição de elevada obsolescência e dependem da intervenção humana para funcionar. O parque fabril é antigo, sendo a maioria das máquinas e tecnologia da década de 30 a 70. Essa condição exige permanente intervenção do setor de manutenção e com isso, perde-se muito tempo e horas produtivas com máquinas paradas. Há também gastos financeiros com peças, refugos, ferramentas, desgaste dos funcionários e elevado número de horas extras.

Durante o período de análise, a planta realizou diversos projetos de melhorias em seu processo produtivo (conforme Tabela 3). A Tabela 5 destaca a quantidade de projetos realizados por linha e a sua distribuição para cada *input*. O objetivo dos projetos foi reduzir o consumo dos principais insumos (*inputs*) em cada uma das linhas de produção.

Tabela 5 - Total de projetos realizados com impacto na eficiência dos *inputs*

Linhas	Ano	<i>Input1</i>	<i>Input2</i>	<i>Input3</i>	<i>Input4</i>	<i>Input5</i> (3) ³	<i>Input6</i>
C1	2007	-	-	-	-	-	-
	2008	-	-	-	-	-	-
	2009	3	2	3	3	2	2
	2010	1	-	-	1	-	-
	2011	3	-	1	-	-	-
	2012	3	-	-	-	-	-
	Total		10	2	4	4	2
C2	2007	7	8	-	-	4	-
	2008	10	10	-	-	4	-
	2009	8	6	3	3	2	2
	2010	2	2	-	-	1	-
	2011	7	2	-	-	-	4
	2012	6	3	1	1	1	1
	Total		40	31	4	4	12
C3	2007	1	-	-	-	-	-
	2008	4	4	-	-	2	-
	2009	8	2	-	-	3	-
	2010	4	5	-	-	5	-
	2011	5	1	-	-	2	-
	2012	7	1	-	-	4	-
	Total		29	13	-	-	16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os *inputs* que tiveram maior número de ações de melhoria em relação às três linhas de produção foram: *input1*, *input2* e *input5*. As linhas C2 e C3 tiveram maior número de projetos voltados à redução do consumo de ferramentas em relação à Linha C1. Os motivos, segundo especialistas do processo, refletem a condição de conservação das linhas. As ações voltadas ao *input2* estão em maior concentração na linha C2. O principal motivo, segundo especialistas do processo, está nas condições das máquinas. Nessas linhas, existe elevado índice de refugos em relação ao *input2*. Assim, tal condição justifica a maior concentração de projetos no *input2*.

Durante a análise, além dos projetos de melhoria contínua, foram realizados três programas que tiveram potencial para modificar as características do processo de fabricação. O primeiro foi realizado em janeiro de 2009, com a instalação de um conjunto de dispositivos para melhoria na eficiência da dosagem do *input3* e *input4* nos produtos. O objetivo desse projeto era aumentar a eficiência no processo de manufatura, reduzindo as variações nas cargas e, consequentemente, a dosagem de cargas além do necessário, diminuindo a constante intervenção humana e os desperdícios em tal processo. A estimativa da iniciativa era aumentar a eficiência na dosagem do *input4* em 3% e a dosagem do *input3* em 4%, reduzindo o consumo desses materiais durante o processo.

³ Para a linha C3 ferramenta representa o *input3*.

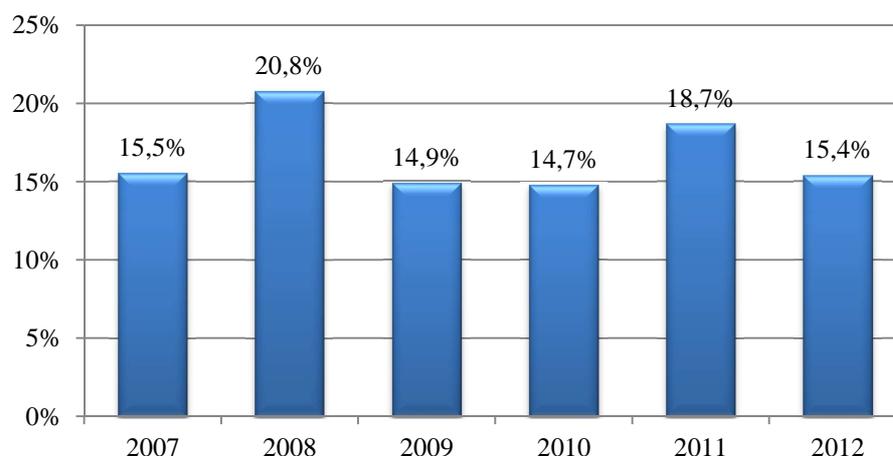
Nesse mesmo período, foi realizado um segundo projeto no qual se modificou o tipo de aço e o tratamento térmico das ferramentas dos processos de prensagem e montagem. O objetivo dessa ação era reduzir o consumo de ferramentas (*input5* para as linhas C1 e C2, *input3* para a linha C3) em 10%. Além disso, iniciou-se o processo de treinamento dos operadores e mecânicos para a regulagem e *setup* nessa linha, pois se acreditava que parte das quebras estava em função da falta de habilidade e conhecimento dos funcionários. O terceiro projeto a ser estudado foi implementado em junho de 2011, pelo qual se modificou o sistema de alimentadores do *input2* nas linhas. O objetivo desse projeto era reduzir o consumo e desperdício do *input2* em 3% e reduzir o tempo de *setup* em 15%, sendo que o resultado foi observado através do tempo (*input1*, linha C3).

O objetivo desta seção foi apresentar o local onde a pesquisa foi realizada. Além disso, foram apresentados os principais projetos de melhoria realizados na planta visando aumentar a eficiência. Foi levantada, ainda, a quantidade de projetos destinados à redução do consumo de cada *input*.

Na próxima etapa será apresentada a análise e a comparação dos períodos de análise. Isso será realizado com base no Ganho e no volume de produção. Segundo Goldratt (1991) o Ganho consiste no valor financeiro referente ao preço do produto subtraindo seus custos totalmente variáveis.

Nessa fase serão analisados o Ganho e o volume de produção dos seis anos que compõem o período total de análise, com o propósito de verificar se não existem diferenças significativas entre os anos analisados. A distribuição do Ganho de cada ano de análise encontra-se ilustrada no Gráfico 3. O Gráfico 4 apresenta a distribuição do volume de produção entre os seis anos analisados. Observa-se, por meio dos Gráficos 3 e 4, que tanto pelo Ganho (preço-custo totalmente variável, GOLDRATT, 1991), quanto pelo volume de produção, os anos de 2008 e 2011 apresentaram os maiores resultados entre os seis anos estudados. Os valores em % referentes ao Ganho de cada ano estão relacionados ao total acumulado no período de seis anos. Cada ano consiste no intervalo de doze meses de produção. No total, foram avaliados 72 meses (6 anos) consecutivos sem interrupção da produção. A avaliação teve início em Janeiro de 2007 e término em Dezembro de 2012.

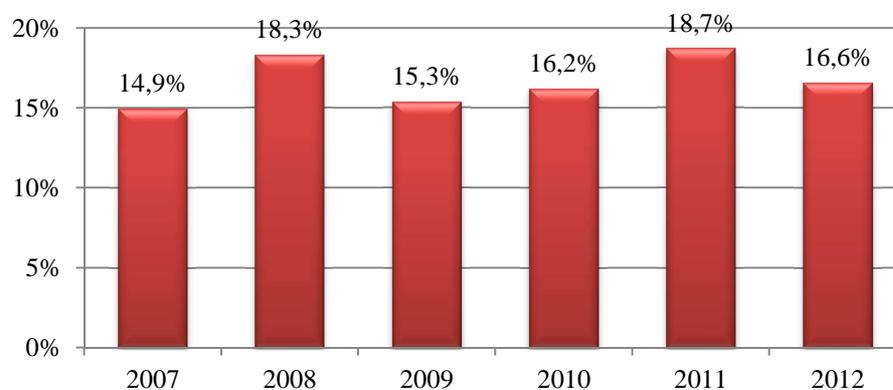
Gráfico 3 - Distribuição do Ganho entre os 6 anos analisados



Fonte: Elaborado pelo autor

O ano de maior Ganho foi 2008, representando 20,8%. O ano de menor Ganho foi 2010, com 14,7%. Observa-se que as variações foram pequenas em cada ano. Com relação ao volume de produção, o Gráfico 4 ilustra os percentuais.

Gráfico 4 - Distribuição do volume de produção entre os 6 anos de análise



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 4, o volume de produção representado em cada um dos anos é de aproximadamente um sexto. Os valores em % referentes ao volume de cada ano estão relacionados ao total acumulado no período de seis anos. O maior volume está no ano de 2011 (18,7%), enquanto o menor volume se concentra no ano de 2007 (14,9%). Durante o período de análise, não houve investimentos significativos de capital na ampliação da capacidade produtiva em função da estabilidade do mercado em relação aos volumes vendidos. Além de não haver aumento de demanda, a empresa não perdeu participação de mercado. Também não

foi adquirida nenhuma nova máquina ou equipamento. Contudo, os investimentos realizados foram direcionados aos programas de melhoria contínua, com foco principal no *Kaizen*.

Com a definição do período de análise, foram levantados dados referentes aos lotes produzidos em cada mês e linha de produção. O diagnóstico é apresentado na próxima seção.

4.1 LEVANTAMENTO DOS PRODUTOS E UNIDADES DE ANÁLISE

Após definido e avaliado o período de análise, foram levantados todos os lotes dos produtos que foram produzidos em cada ano. Estes foram classificados no período de análise em relação à quantidade de lotes produzidos em cada ano. Nenhum dos modelos de produto produziu mais que um lote por mês, conforme Tabela 6. Durante o intervalo de análise dos lotes, entre os anos de 2007 a 2012, foram produzidos 583 lotes. Cada modelo de produto é produzido em uma linha de produção independente, ou seja, sem compartilhar recursos.

Os meses de produção de cada modelo de produto foram considerados as unidades de análise, DMUs. Os lotes das linhas C1 a C3 foram produzidos em todos os 72 meses, nos seis anos de análise, sem interrupção. As linhas C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10 foram interrompidas em alguns meses, totalizando 366 lotes nos seis anos. A linha C11 produziu apenas uma vez, no ano de 2011. Tal material foi um novo produto desenvolvido, mas não teve continuidade, tendo sua produção encerrada em 2011. A Tabela 6 apresenta a relação dos produtos com suas respectivas linhas de produção e lotes distribuídos ao longo dos 6 anos de análise.

Tabela 6 - Número de lotes por produto e período

Linha/ Produto	2007 Jan à Dez	2008 Jan à Dez	2009 Jan à Dez	2010 Jan à Dez	2011 Jan à Dez	2012 Jan à Dez	Total
C1	12	12	12	12	12	12	72
C2	12	12	12	12	12	12	72
C3	12	12	12	12	12	12	72
C4	10	9	11	9	9	8	56
C5	10	9	11	10	10	11	61
C6	7	5	4	8	5	6	35
C7	12	10	9	11	9	12	63
C8	10	11	12	9	12	8	62
C9	10	11	9	10	11	10	61
C10	4	6	6	5	3	4	28
C11	-	-	-	-	1	-	1
Total	99	97	98	98	96	95	583

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o intervalo de análise, foram produzidos onze produtos diferentes. Dentre eles, apenas dez tiveram produção nos seis anos de análise. O produto C11 foi desenvolvido em 2011 e descontinuado. Com exceção deste, não foi desenvolvido nenhum novo produto e também não houve descontinuidade na produção dos já existentes.

A quantidade de lotes produzidos por linha de produção em cada ano, indicados na Tabela 6, contribuiu para a definição dos produtos e de suas respectivas linhas a serem estudadas. A partir dessa identificação, foram levantadas, nas bases de dados da empresa, informações referentes ao Ganho de cada produto e aos seus respectivos volumes de produção. Os dados foram organizados em termos de percentuais do total, com relação ao Ganho e aos volumes de produção e estão ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Distribuição do Ganho e volume de produção por linha/produto e ano

Linha/ Produto	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Volume	Ganho										
C1	23%	13%	23%	14%	26%	15%	31%	22%	30%	22%	31%	21%
C2	28%	33%	24%	27%	20%	24%	16%	21%	22%	26%	13%	16%
C3	11%	17%	14%	22%	14%	24%	9%	17%	10%	18%	11%	20%
C4	0,2%	0,2%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	4%	4%
C5	11%	11%	9%	8%	9%	8%	12%	11%	9%	9%	9%	9%
C6	0,4%	0,3%	0,4%	0,3%	1%	0,4%	1%	0,5%	0,4%	0,3%	0,4%	0,4%
C7	10%	10%	10%	9%	12%	11%	10%	10%	8%	8%	10%	10%
C8	8%	7%	8%	7%	7%	6%	9%	8%	8%	7%	11%	10%
C9	7%	7%	8%	8%	8%	6%	8%	7%	8%	6%	10%	9%
C10	1%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	1%	2%	1%	1%
C11	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1%	0,08%	-	-
Total	100%											

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 7, as linhas C1, C2 e C3 representam os maiores percentuais de volume e Ganho nos seis anos de análise. Juntas, representam mais de 54% do volume e Ganho da empresa. Assim, por serem representativas e terem à disposição todas as informações para análise, foram utilizadas nesta pesquisa. Na próxima seção, serão apresentadas as informações sobre os *inputs* e *outputs* de cada um dos produtos a serem estudados.

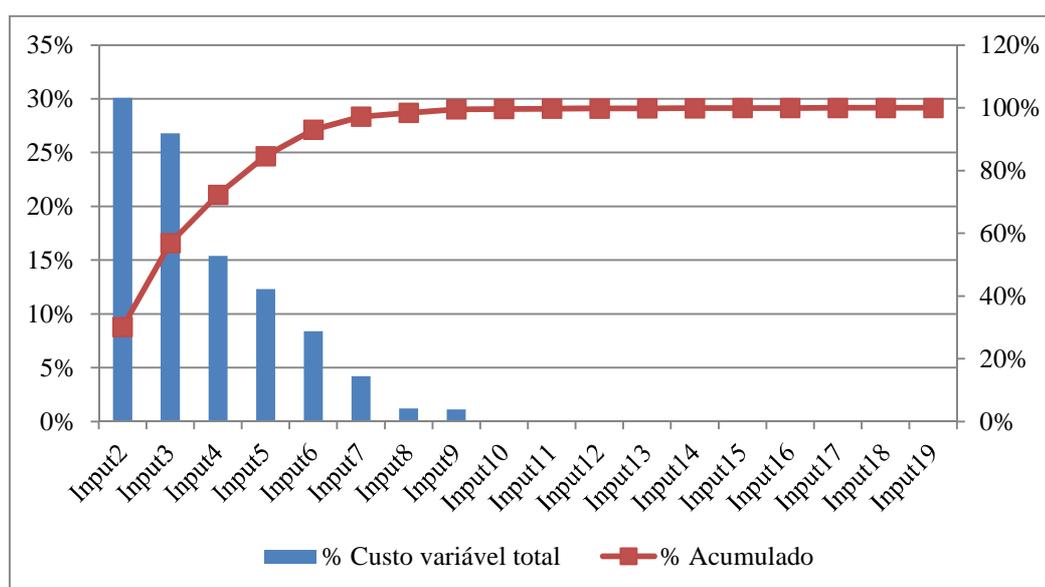
4.2 LEVANTAMENTO DOS *INPUTS* E *OUTPUTS*

Nessa etapa foram levantados, com os principais especialistas do processo, os *inputs* e *outputs* de maior relevância para a análise. Com base nessa avaliação, foi considerado um único *output*, isto é, o produto produzido durante o período de um mês. Cada lote de produto fabricado tem duração menor ou igual a um mês. Logo, cada lote produzido representa um mês de análise. Cada um dos meses foi considerado como unidade de análise (DMUs) da presente pesquisa.

Para a avaliação dos *inputs*, foram selecionadas três categorias relacionadas ao tempo, custo fixo e custo variável. O uso da variável tempo como *input* deu-se em função de ser um recurso importante para a empresa, recomendado pelos especialistas do processo. Com a variedade de produtos, a gestão do tempo no processo de manufatura é essencial para os ganhos de produtividade. (RHO; YU, 1998). Logo, o *input* tempo consiste no número de horas necessárias para produção de cada lote de um determinado tipo de produto.

Os especialistas do processo consideraram irrelevantes as variáveis referentes ao custo fixo para a análise por representarem menos de 5% do custo total de cada produto. Contudo, as variáveis referentes aos custos variáveis foram sugeridas pelos especialistas para análise. O Gráfico 5 apresenta os percentuais do custo variável dos produtos representado pelas matérias-primas utilizadas.

Gráfico 5 - Composição do custo variável total de produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dezoito *inputs* avaliados constituem as matérias primas necessárias para fabricação de um produto (produto acabado). As dezoito matérias-primas que compõem o custo variável de cada produto incluem: produtos químicos, polímeros, metais ferrosos e não ferrosos, embalagens, entre outros. Para verificação do grau de relevância de cada matéria-prima em relação ao seu custo, verificou-se o consumo médio dos últimos 12 meses e o respectivo custo unitário de cada um dos materiais. A Tabela 8 apresenta o resultado em termos de percentuais de cada uma das matérias-primas necessárias para fabricação de um produto. A análise da participação dos insumos inicia no *input2* e termina na *input19*, conforme aparece na Tabela 8 em ordem decrescente. Um aspecto interessante a se observar nesse caso diz respeito aos cinco primeiros *inputs* (2, 3, 4, 5 e 6), que juntos corresponderem a mais de 93% do custo total das matérias-primas, o que os torna relevantes para a pesquisa. Todos os demais *inputs*, juntos, representam em média 7% do custo variável das matérias-primas. Logo, conforme opinião dos especialistas do processo, possuem pouca relevância para análise. Com base nesses pressupostos, os cinco *inputs* referentes ao custo variável total com maior relevância foram: *inputs* 2, 3, 4, 5 e 6. Assim, os mesmos foram utilizados na pesquisa.

Tabela 8 - Peso dos insumos *inputs* sobre o custo variável total

Insumo	% Custo variável total	% Acumulado
<i>Input2</i>	30,0981	30,0981
<i>Input3</i>	26,7887	56,8869
<i>Input4</i>	15,3990	72,2859
<i>Input5</i>	12,3192	84,6051
<i>Input6</i>	8,3995	93,0046
<i>Input7</i>	4,1997	97,2044
<i>Input8</i>	1,2039	98,4083
<i>Input9</i>	1,1199	99,5282
<i>Input10</i>	0,1034	99,6317
<i>Input11</i>	0,0966	99,7282
<i>Input12</i>	0,0632	99,7914
<i>Input13</i>	0,0616	99,8530
<i>Input14</i>	0,0392	99,8922
<i>Input15</i>	0,0294	99,9216
<i>Input16</i>	0,0252	99,9468
<i>Input17</i>	0,0182	99,9650
<i>Input18</i>	0,0175	99,9825
<i>Input19</i>	0,0154	99,9979

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao longo de todo o período de análise (2007 a 2012), o grau de relevância de cada uma das matérias-primas apresentadas na Tabela 8 não percebeu alterações significativas em proporção ao montante do custo totalmente variável de cada produto. Com essa análise, encerra-se a apresentação das variáveis utilizadas como *inputs* e *outputs* para esta pesquisa.

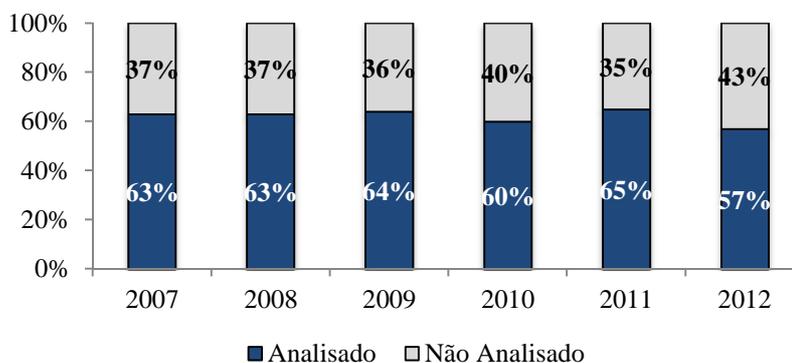
Na próxima etapa, serão associadas às informações sobre a quantidade de lotes por tipo de produto com a relevância de cada um deles para definir o modelo de análise.

De acordo com o grau de importância dos produtos em relação a sua participação no Ganho e no volume de produção, as linhas C4, C6, C10 e C11 não foram consideradas por não terem volume e Ganho significativos para a análise. Eles representaram menos de 6% do Ganho e volume total de produção em cada período. Além disso, a linha C11 não teve continuidade, sendo que sua produção ocorreu apenas uma única vez.

As linhas C5, C7, C8 e C9 representaram entre 33% e 41% do volume produzido e entre 30% e 38% do Ganho realizado durante os seis anos analisados. Apesar de serem representativos para a análise, esses números não foram considerados devido à falta de continuidade dos dados e à dificuldade em obter informações relevantes para análise.

O Gráfico 6 apresenta a soma do Ganho realizado pelas linhas C1, C2 e C3, que juntas representam 63% do Ganho no ano de 2007, 63% em 2008, 64% em 2009, 60% em 2010, 65% em 2011 e 57% em 2012. A ilustração apresenta a soma dos Ganhos referentes às linhas analisadas e não analisadas, expressos em percentuais, para cada ano de produção.

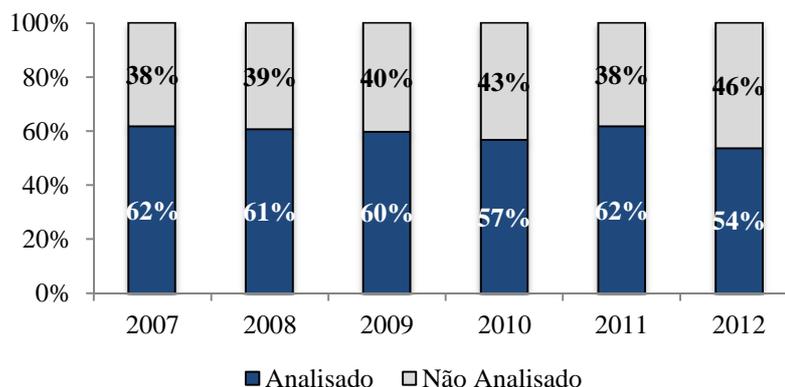
Gráfico 6 - Percentual do Ganho nos períodos considerando a soma das linhas C1, C2 e C3



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere ao volume de produção, o Gráfico 7 mostra a representatividade das linhas C1, C2 e C3 somadas em cada ano. A soma dos três tipos representa 62% do volume produzido no ano de 2007, 61% em 2008, 60% em 2009, 57% em 2010, 62% em 2011 e 54% em 2012. Logo, pode-se afirmar que os volumes de produção não tiveram variações significativas, exceto em 2012, quando a soma de volume dos três tipos representou 54% do volume produzido.

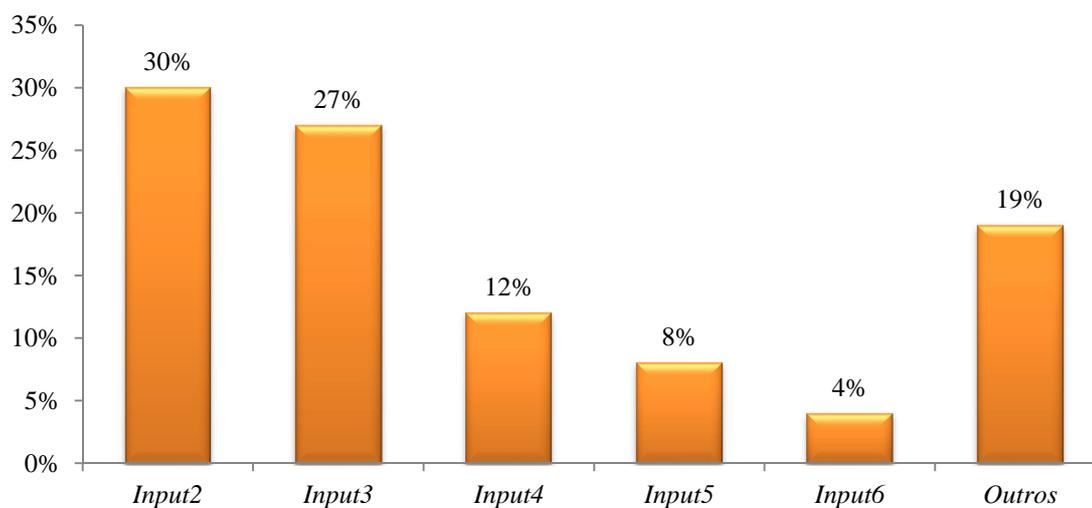
Gráfico 7 - Percentual do volume de produção analisado considerando a soma das linhas C1, C2 e C3



Fonte: Elaborado pelo autor

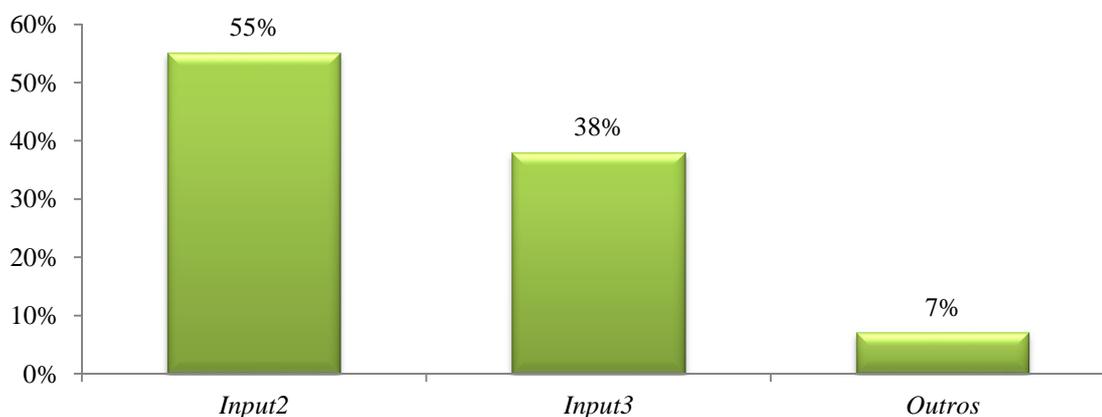
O número total de lotes e meses produzidos para cada uma das linhas analisadas (C1, C2 e C3) foi de 72, logo, o modelo possui 72 DMUs (72 lotes e 72 meses) para cada tipo de produto. Com o objetivo de atender as recomendações de Golany e Roll (1989) para avaliação de modelos na Análise Envoltória de Dados, o número de DMUs deve ser maior ou igual a três vezes a soma dos *inputs* e *outputs*. Essa regra, como dito anteriormente, proporciona uma condição de maior poder discriminatório entre as DMUs. Com o número de 72 DMUs e um único *output*, o modelo poderia aceitar até 23 *inputs*.

Com base na representatividade do custo variável total (Tabela 8) e na recomendação dos especialistas do processo, foram considerados somente 6 *inputs* relevantes para as linhas C1 e C2 e 3 *inputs* relevantes para a linha C3. Para os três modelos de linha, foi adicionada a variável tempo como *input*. A variável tempo, segundo orientação dos especialistas e de Rho e Yu, (1998), tem importância significativa no processo produtivo. Logo, as linhas C1 e C2 tiveram 5 *inputs* selecionados com base no custo variável total mais o *input* tempo. No caso da linha C3, teve 2 *inputs* selecionados com base no custo variável total mais o *input* tempo. O Gráfico 8 ilustra o percentual de representatividade dos *inputs* das linhas C1 e C2 com base no custo variável total. Os *inputs* 2, 3, 4, 5 e 6 representam 81% do custo variável total dos produtos.

Gráfico 8 - Importância dos *inputs* utilizados com base no custo variável total para as linhas C1 e C2

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 9 ilustra o percentual de representatividade dos *inputs* referentes à linha C3 com base no custo variável total. Os *inputs* 2 e 3 representam 93% do custo variável total desse produto.

Gráfico 9 - Importância dos *inputs* utilizados com base no custo variável total para a linha C3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o objetivo de facilitar o entendimento sobre os *inputs*, *outputs* e suas respectivas unidades de medida utilizadas na pesquisa, o Quadro 23 apresenta o detalhamento dessas variáveis referentes às linhas C1 e C2.

Quadro 23 - Detalhamento dos *inputs* e *outputs* utilizados nas linhas C1 e C2

Variável	Nome	Unidade
<i>Input1</i>	Tempo	h
<i>Input2</i>	Case	pç
<i>Input3</i>	Pellets	kg
<i>Input4</i>	Propulsante	kg
<i>Input5</i>	Ferramenta	pç
<i>Input6</i>	Principiador	pç
<i>Output1</i>	Produto acabado	pç

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a descrição das unidades utilizadas nos *inputs* e *outputs* para as linhas C1 e C2, o Quadro 24 apresenta o detalhamento dos *inputs* e *outputs* referentes à linha C3.

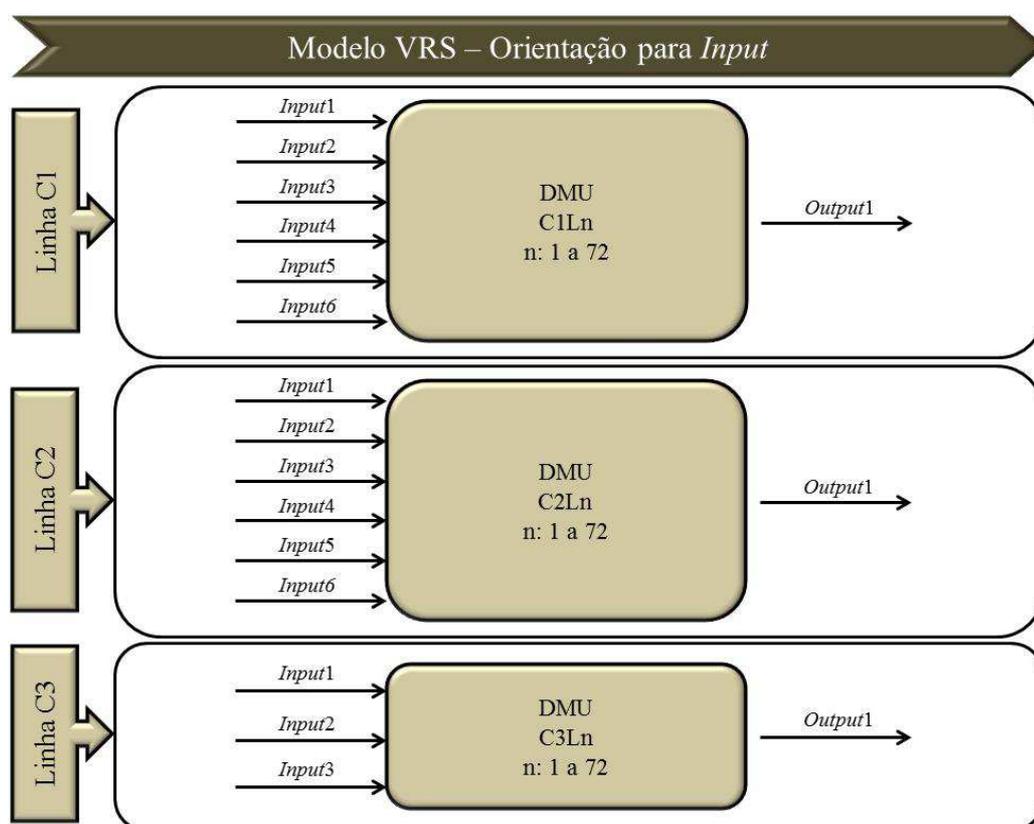
Quadro 24 - Detalhamento dos *inputs* e *outputs* utilizados na linha C3

Variável	Produto	Unidade
<i>Input1</i>	Tempo	h
<i>Input2</i>	Case	pç
<i>Input3</i>	Ferramenta	pç
<i>Output1</i>	Produto acabado	pç

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme descrito, o primeiro modelo de análise foi composto por seis *inputs* e um *output* (linhas C1 e C2) e seis anos de análise, que nesse caso seriam seis anos consecutivos de produção, totalizando setenta e dois meses. Para o segundo modelo de análise, foram utilizados três *inputs* e um *output* (linha C3), também durante seis anos consecutivos de produção, totalizando setenta e dois meses. A Figura 31 ilustra os três modelos de linhas analisadas juntamente com seus *inputs* e *outputs* e seus respectivos períodos em anos. Os cinco *inputs* das linhas C1 e C2 representam 81% do custo variável total. Os dois *inputs* da linha C3 representam 93% do custo variável total. As linhas C1, C2 e C3 juntas representam, em média, 59% do volume de produção analisado e 62% do Ganho realizado durante os seis anos de análise.

Figura 31 - Representação dos modelos para análise



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O sistema produtivo utilizado para os três modelos de produto tem a característica de não seguir uma relação proporcional entre a entrada de insumos e a saída de produtos acabados. O aumento excessivo dos insumos gera um número menor (desproporcional) na saída de produtos acabados. Isso acontece em função do tipo de tecnologia utilizada pela empresa. Segundo os especialistas do processo, os equipamentos precisam operar com um número adequado de insumos, caso contrário geram perdas em função de problemas de alimentação, refugos, paradas de máquinas, quebras de ferramenta e desperdícios.

Outro fator interessante consiste no excesso ou na falta de mão de obra nas linhas de produção. Nesse caso, a operação é prejudicada, sendo necessário um número ideal de operadores para cada linha de produção. Empiricamente, foi destacado pelos especialistas do processo que o excesso de operadores na produção diminui a produtividade e aumenta os índices de refugo e retrabalho.

Após a estruturação do modelo para análise com os tipos de produtos e suas respectivas linhas de produção, *inputs*, *outputs* e período de análise, encerra-se a fase da avaliação de dados. No próximo capítulo, serão apresentados os resultados obtidos dos cálculos de eficiência (DEA) das linhas C1, C2 e C3 obtidas no período de seis anos de produção.

5 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS

Neste capítulo, são apresentados os cálculos e resultados da eficiência técnica global (CRS), eficiência técnica pura (VRS), fronteira invertida, eficiência composta, eficiência composta normalizada, eficiência de escala e rendimento de escala das linhas C1, C2 e C3. Os resultados da eficiência composta são importantes para a análise da eficiência e dos programas de melhoria contínua em função de considerar os aspectos positivos e negativos das DMUs simultaneamente. Além disso, contribuem para a discriminação das DMUs empatadas com eficiência igual a 1, minimizando a benevolência do modelo. Os resultados são apresentados considerando um período total de seis anos consecutivos, sem interrupção da produção, somando setenta e dois meses, o que corresponde, nessa análise, a setenta e duas DMUs. Logo depois, é apresentada a relação das DMUs de referência (*benchmark*) e seus respectivos escores de referência (λ) para cada uma das DMUs ineficientes.

Posteriormente, é apresentada a relação dos alvos e ineficiências das piores DMUs para cada uma das linhas de produção. Foram consideradas DMUs eficientes as que apresentaram rendimento de escala constante. As ineficientes foram as de menor valor de eficiência no modelo com retornos variáveis de escala (VRS). Os critérios para identificação das DMUs eficientes e não eficientes são os mesmos para todos os tipos de linhas analisadas (C1, C2 e C3).

Todos os valores de eficiência variam entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais eficiente será a DMU. Por fim, serão analisados, por meio gráfico, os rendimentos de escala para cada uma das linhas, identificando o percentual de DMUs em cada um desses rendimentos (constante, crescente e decrescente). No final da análise, será verificado qual apresentou melhor resultado na eficiência composta VRS. Na próxima seção, será apresentada a análise da eficiência da linha C1.

5.1 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA LINHA C1

Na Tabela 9 estão relacionados, em ordem cronológica, os 72 meses que representam 72 lotes da linha C1 produzidos ao longo dos seis anos consecutivos (Janeiro de 2007 até Dezembro de 2012). Na Tabela, encontram-se os cálculos das eficiências técnica global, técnica pura, fronteira invertida, eficiência composta, eficiência composta normalizada, eficiência de escala e também o rendimento de escala. Os cálculos foram utilizados para a verificação do desempenho de eficiência de cada uma das unidades de análise (DMUs). A

Tabela 9 apresenta, ainda, os resultados de eficiências e rendimento de escala da linha C1. As DMUs destacadas em preto representam as de menor eficiência técnica VRS no período. As destacadas em cinza, representam maior eficiência técnica VRS.

Tabela 9 - Eficiência da linha C1

(Continua)

DMUs	MÊS	CRS	VRS	Invertida	Composta	Composta* ⁴	Eficiência de Escala	Rendimento de Escala
		Eficiência Técnica Global	Eficiência Técnica Pura					
C1L01	1	0,9933	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	0,9933	Decrescente
C1L02	2	0,9860	0,9922	1,0000	0,4961	0,9819	0,9938	Decrescente
C1L03	3	0,9957	0,9977	0,9987	0,4995	0,9886	0,9979	Decrescente
C1L04	4	1,0000	1,0000	0,9943	0,5029	0,9953	1,0000	Constante
C1L05	5	1,0000	1,0000	0,9925	0,5037	0,9970	1,0000	Constante
C1L06	6	1,0000	1,0000	0,9928	0,5036	0,9968	1,0000	Constante
C1L07	7	0,9989	0,9991	0,9920	0,5035	0,9966	0,9998	Decrescente
C1L08	8	0,9995	0,9995	0,9929	0,5033	0,9962	0,9999	Decrescente
C1L09	9	0,9993	1,0000	0,9929	0,5036	0,9967	0,9993	Decrescente
C1L10	10	0,9889	0,9897	1,0000	0,4949	0,9794	0,9992	Decrescente
C1L11	11	0,9952	0,9956	1,0000	0,4978	0,9852	0,9997	Decrescente
C1L12	12	0,9986	0,9992	0,9927	0,5032	0,9960	0,9994	Decrescente
C1L13	13	0,9941	1,0000	1,0000	0,5000	0,9897	0,9941	Decrescente
C1L14	14	1,0000	1,0000	0,9911	0,5044	0,9984	1,0000	Constante
C1L15	15	0,9961	0,9964	0,9947	0,5008	0,9913	0,9998	Decrescente
C1L16	16	0,9931	0,9933	0,9999	0,4967	0,9831	0,9998	Crescente
C1L17	17	0,9977	0,9978	0,9938	0,5020	0,9936	0,9999	Crescente
C1L18	18	0,9944	0,9951	0,9964	0,4993	0,9883	0,9993	Decrescente
C1L19	19	0,9979	0,9992	0,9964	0,5014	0,9924	0,9987	Crescente
C1L20	20	0,9956	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	0,9956	Crescente
C1L21	21	0,9914	0,9919	1,0000	0,4960	0,9817	0,9994	Crescente
C1L22	22	0,9994	0,9999	0,9918	0,5041	0,9977	0,9995	Crescente
C1L23	23	0,9994	1,0000	0,9933	0,5033	0,9962	0,9994	Decrescente
C1L24	24	1,0000	1,0000	0,9895	0,5052	1,0000	1,0000	Constante
C1L25	25	0,9877	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	0,9877	Decrescente
C1L26	26	0,9911	0,9935	0,9968	0,4983	0,9864	0,9976	Decrescente
C1L27	27	0,9964	0,9977	1,0000	0,4988	0,9873	0,9987	Decrescente
C1L28	28	0,9968	0,9970	0,9961	0,5005	0,9905	0,9997	Decrescente
C1L29	29	0,9980	0,9983	0,9995	0,4994	0,9884	0,9997	Decrescente
C1L30	30	0,9958	0,9958	0,9976	0,4991	0,9878	0,9999	Crescente
C1L31	31	0,9971	0,9973	0,9955	0,5009	0,9914	0,9998	Crescente
C1L32	32	0,9969	0,9972	1,0000	0,4986	0,9868	0,9997	Crescente
C1L33	33	0,9963	0,9976	1,0000	0,4988	0,9873	0,9986	Crescente
C1L34	34	0,9951	0,9956	1,0000	0,4978	0,9853	0,9995	Decrescente
C1L35	35	0,9970	0,9970	0,9954	0,5008	0,9912	0,9999	Decrescente
C1L36	36	1,0000	1,0000	0,9964	0,5018	0,9932	1,0000	Constante
C1L37	37	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	1,0000	Constante
C1L38	38	1,0000	1,0000	0,9972	0,5014	0,9924	1,0000	Constante
C1L39	39	0,9960	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	0,9960	Crescente
C1L40	40	0,9829	0,9929	1,0000	0,4965	0,9826	0,9899	Crescente
C1L41	41	0,9943	0,9944	1,0000	0,4972	0,9841	0,9999	Crescente
C1L42	42	0,9958	0,9958	1,0000	0,4979	0,9855	1,0000	Crescente
C1L43	43	0,9994	0,9995	1,0000	0,4998	0,9892	0,9998	Crescente
C1L44	44	0,9996	1,0000	0,9935	0,5032	0,9960	0,9996	Crescente

⁴ A eficiência composta normalizada assume o valor mais alto da eficiência composta como 1.

(Conclusão)

DMUs	MÊS	CRS	VRS	Invertida	Composta	Composta* ⁵	Eficiência de Escala	Rendimento de Escala
		Eficiência Técnica Global	Eficiência Técnica Pura					
C1L45	45	0,9993	1,0000	0,9904	0,5048	0,9991	0,9993	Decrescente
C1L46	46	1,0000	1,0000	0,9924	0,5038	0,9971	1,0000	Constante
C1L47	47	1,0000	1,0000	0,9941	0,5030	0,9955	1,0000	Constante
C1L48	48	0,9956	0,9957	0,9958	0,4999	0,9895	0,9999	Decrescente
C1L49	49	0,9910	0,9933	1,0000	0,4967	0,9830	0,9976	Decrescente
C1L50	50	1,0000	1,0000	0,9926	0,5037	0,9969	1,0000	Constante
C1L51	51	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	1,0000	Constante
C1L52	52	0,9976	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	0,9976	Crescente
C1L53	53	1,0000	1,0000	0,9990	0,5005	0,9906	1,0000	Constante
C1L54	54	0,9977	0,9981	1,0000	0,4991	0,9877	0,9996	Crescente
C1L55	55	0,9988	1,0000	0,9965	0,5018	0,9931	0,9988	Crescente
C1L56	56	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	1,0000	Constante
C1L57	57	1,0000	1,0000	0,9977	0,5012	0,9919	1,0000	Constante
C1L58	58	0,9961	0,9961	0,9976	0,4993	0,9882	1,0000	Crescente
C1L59	59	0,9950	0,9952	0,9971	0,4991	0,9878	0,9998	Decrescente
C1L60	60	1,0000	1,0000	0,9921	0,5039	0,9974	1,0000	Constante
C1L61	61	0,9983	1,0000	0,9966	0,5017	0,9930	0,9983	Decrescente
C1L62	62	1,0000	1,0000	0,9987	0,5006	0,9909	1,0000	Constante
C1L63	63	0,9987	1,0000	0,9967	0,5016	0,9929	0,9987	Crescente
C1L64	64	0,9979	0,9981	0,9961	0,5010	0,9916	0,9998	Decrescente
C1L65	65	1,0000	1,0000	0,9973	0,5014	0,9923	1,0000	Constante
C1L66	66	1,0000	1,0000	0,9939	0,5030	0,9956	1,0000	Constante
C1L67	67	0,9983	0,9984	0,9939	0,5022	0,9941	0,9999	Decrescente
C1L68	68	0,9966	1,0000	0,9985	0,5008	0,9912	0,9966	Crescente
C1L69	69	0,9982	1,0000	1,0000	0,5000	0,9896	0,9982	Crescente
C1L70	70	0,9960	0,9981	1,0000	0,4991	0,9878	0,9978	Crescente
C1L71	71	0,9977	0,9979	0,9963	0,5008	0,9913	0,9998	Decrescente
C1L72	72	0,9942	1,0000	0,9976	0,5012	0,9920	0,9942	Decrescente

Fonte: Elaborado pelo autor.

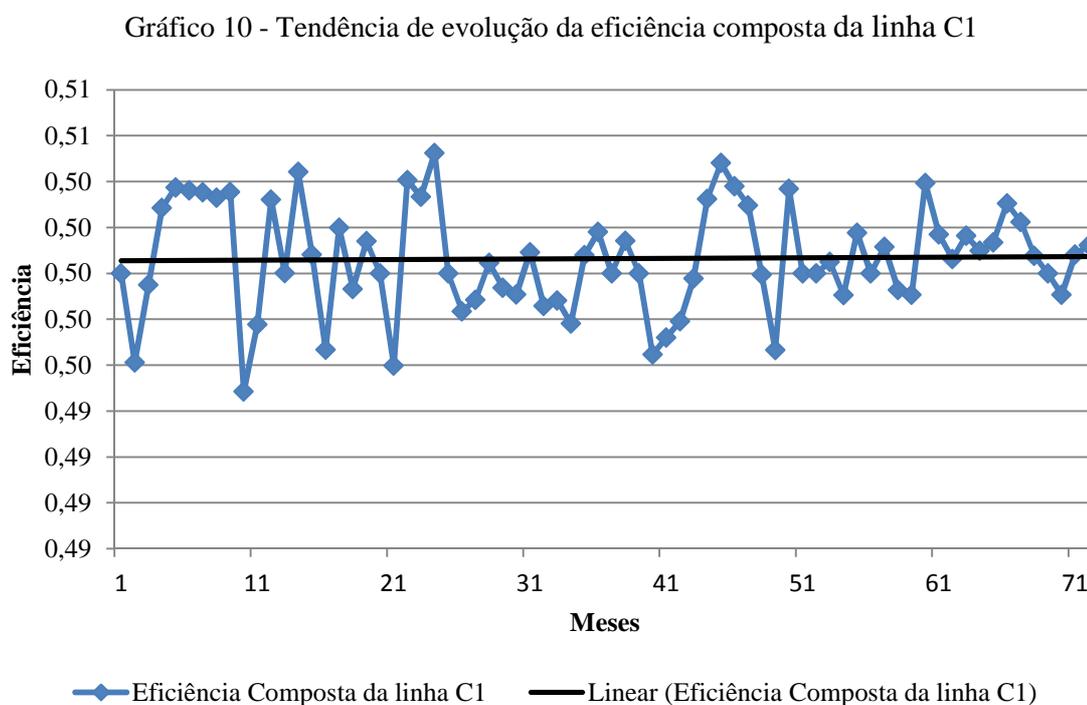
As DMUs C1L04, C1L05, C1L06, C1L14, C1L24, C1L36, C1L37, C1L38, C1L46, C1L47, C1L50, C1L51, C1L53, C1L56, C1L57, C1L60, C1L62, C1L65 e C1L66 apresentaram as melhores eficiências. Essas dezenove DMUs operam em escala eficiente, ou seja, com rendimentos constantes de escala. Elas representam 26,38% do total de unidades analisadas. As DMUs C1L02, C1L10, C1L16, C1L21, C1L26, C1L40, C1L41 e C1L49 mostraram as menores eficiências, representando 11,1% do total das unidades analisadas. Essas DMUs ineficientes operam em escala ineficiente (crescente ou decrescente).

A sequência inicial de três meses consecutivos com maior eficiência C1L04, C1L05 e C1L06 indicam uma sequência favorável de práticas operacionais. O mesmo pode ser observado nas DMUs C1L36, C1L37 e C1L38. Com relação às ineficientes, observa-se que estão mais concentradas no início e na metade do período de análise. Isso indica que a incidência de DMUs ineficientes é menor a partir da DMU C1L49, podendo esse ser um

⁵ A eficiência composta normalizada assume o valor mais alto da eficiência composta como 1.

indicador de melhoria na eficiência produtiva. A DMU que apresentou a menor eficiência composta na amostra foi a CIL10. Seu índice de eficiência composta foi de 0,4949, ou seja, 49%. Esta opera com rendimentos decrescentes de escala, indicando, por meio dos alvos, um consumo excessivo do *input*5.

O Gráfico 10 apresenta a tendência de evolução da eficiência composta VRS referente à linha C1. Essa análise possibilita observar se existem indícios do processo de aprendizado e melhoria contínua sobre a eficiência. A averiguação é realizada por meio do coeficiente angular da reta de tendência. Quando a declividade for positiva ($\alpha > 0$), podem existir sinais do efeito do processo de melhoria e aprendizado. Quando negativo, não pode ser inferido que tais processos melhoraram a eficiência ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado no Gráfico10, a reta de tendência apresenta uma declividade positiva, porém reduzida. A partir dessa análise, pode ser observado que existem poucos indícios de que o processo aprendizado e melhoria contínua refletiu aumento na eficiência da linha C1. As DMUs eficientes estão dispersas ao longo do período de análise. Com isso, as observações realizadas com base na linha de tendência da eficiência composta, apresentada no Gráfico 10, sugerem que a linha C1 não apresenta efeitos significativos do processo de aprendizado e melhoria contínua na eficiência do processo.

A linha de tendência se mantém com uma pequena inclinação positiva. A amplitude de variações na eficiência composta foi em torno de 2% (51% - 49%). Isso indica pouca variação no processo produtivo, sugerindo que os efeitos de melhoria contínua não foram significativos.

A Tabela 10 apresenta as DMUs de referência (*benchmark*) e seus respectivos escores (λ) utilizados como parâmetro para o cálculo dos alvos que tornam as DMUs ineficientes em eficientes. As DMUs C1L24 e C1L66 (destacadas na Tabela 10) servem de referência para a maioria das ineficientes. Logo, um número significativo de DMUs (29 e 24) devem seguir as práticas operacionais de C1L24 e C1L66. Do mesmo modo, essas duas são as melhores referências da amostra. Segundo Ferreira e Gomes (2009), quanto mais vezes uma DMU eficiente é identificada como parceira de excelência (*benchmark*) para DMUs ineficientes, maior é a sua importância entre as ineficientes.

Tabela 10 - *Benchmark* – DMUs de referência e escores (λ) da linha C1

DMU	λ	Total de referências	DMU	λ	Total de referências	DMU	λ	Total de referências
C1L01	λ_1	14	C1L37	λ_{37}	2	C1L56	λ_{56}	8
C1L04	λ_4	1	C1L38	λ_{38}	13	C1L57	λ_{57}	2
C1L05	λ_5	5	C1L39	λ_{39}	1	C1L60	λ_{60}	4
C1L06	λ_6	1	C1L44	λ_{44}	1	C1L61	λ_{61}	3
C1L09	λ_9	1	C1L45	λ_{45}	7	C1L62	λ_{62}	2
C1L13	λ_{13}	1	C1L46	λ_{46}	7	C1L63	λ_{63}	2
C1L14	λ_{14}	8	C1L47	λ_{47}	2	C1L65	λ_{65}	1
C1L20	λ_{20}	3	C1L50	λ_{50}	11	C1L66	λ_{66}	24
C1L23	λ_{23}	1	C1L51	λ_{51}	8	C1L68	λ_{68}	1
C1L24	λ_{24}	29	C1L52	λ_{52}	1	C1L69	λ_{69}	1
C1L25	λ_{25}	7	C1L53	λ_{53}	1	C1L72	λ_{72}	1
C1L36	λ_{36}	1	C1L55	λ_{55}	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando as DMUs de referência na Tabela 10, pode-se observar uma maior concentração delas entre as de número 14 e 51, podendo isso ser uma indicação de um período de melhores práticas operacionais⁶. Quanto maior for o valor do coeficiente λ , maior é a influência da DMU de referência (*benchmark*) na DMU ineficiente. Como exemplo, a DMU C1L01 (*benchmark*) é mais importante para a C1L03 do que a C1L05. O total de referências (*benchmark*) apresentado nas colunas indica quais são as DMUs eficientes mais representativas para a maior quantidade de DMUs ineficientes. As DMUs C1L24 e C1L66

⁶ A tabela para visualização da concentração das DMUs de referência está contida no anexo A.

são referência para 53 DMUs ineficientes. Essa análise é equivalente para todas as tabelas de *benchmark* apresentadas nesta seção.

A Tabela 11 apresenta valores dos alvos e ineficiências no uso dos recursos produtivos (*inputs*). Os alvos são os valores que tornam as DMUs ineficientes em eficientes. Para cálculo dos alvos, são considerados os valores dos escores (λ) das DMUs de referência (*benchmark*). Por meio deles, é possível verificar quais são os *inputs* de maior influência na eficiência de uma determinada DMU.

Tabela 11 - Relação dos alvos e ineficiências das DMUs de menor eficiência da linha C1

DMU		<i>Input1</i>	<i>Input2</i>	<i>Input3</i>	<i>Input4</i>	<i>Input5</i>	<i>Input6</i>
C1L02	Valor atual	63	303.343	7.523	422	4	303.040
	Alvo	63	300.988	7.390	419	2	300.687
	Ineficiência	1%	1%	2%	1%	48%	1%
C1L10	Valor atual	153	516.502	12.396	666	13	515.986
	Alvo	151	511.182	12.175	659	6	510.671
	Ineficiência	1%	1%	2%	1%	52%	1%
C1L16	Valor atual	252	703.517	16.603	886	13	702.814
	Alvo	250	698.474	16.491	880	6	698.082
	Ineficiência	1%	1%	1%	1%	50%	1%
C1L21	Valor atual	288	643.595	15.124	837	10	642.951
	Alvo	232	638.125	15.002	823	6	637.774
	Ineficiência	19%	1%	1%	2%	42%	1%
C1L26	Valor atual	108	296.245	7.258	391	5	295.949
	Alvo	107	294.314	7.055	388	5	294.020
	Ineficiência	1%	1%	3%	1%	8%	1%
C1L40	Valor atual	324	569.337	13.949	780	15	568.768
	Alvo	204	565.309	13.432	753	5	564.744
	Ineficiência	37%	1%	4%	3%	68%	1%
C1L41	Valor atual	351	671.788	16.593	914	14	671.117
	Alvo	197	668.038	16.101	903	4	667.370
	Ineficiência	44%	1%	3%	1%	70%	1%
C1L49	Valor atual	198	368.190	8.800	468	4	367.822
	Alvo	187	365.522	8.727	465	4	365.370
	Ineficiência	5%	1%	1%	1%	1%	1%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme ilustrado na Tabela 11, o *input* de maior impacto na ineficiência das DMUs C1L02, C1L10, C1L16, C1L21, C1L26, C1L40 e C1L41 foi o *input5*. As DMUs C1L21, C1L40 e C1L41, além de ter ineficiência no *input5*, também tiveram ineficiência no *input1*. A DMU C1L41 teve maior ineficiência no *input1*, sendo a pior DMU da amostra. O *input5* foi o de maior ineficiência da amostra. Quanto ao *input1*, teve maior representatividade apenas nas DMUs C1L21, C1L40 e C1L41.

Para melhor explicar os valores dos alvos pode-se afirmar, por exemplo, que a DMU C1L41 utilizou 44% a mais do *input1* e 70% a mais do *input5* em relação às DMUs de

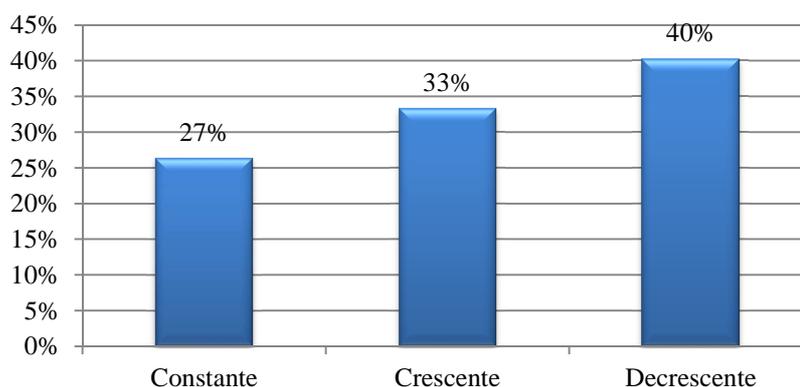
referência (*benchmark*). Segundo os especialistas do processo, o consumo excessivo do *input5* e *input1* está relacionado à tecnologia utilizada para produção na linha C1, uma vez que são utilizadas máquinas obsoletas e ultrapassadas no processo. Essa condição favorece ao consumo do *input5*, exigindo mais tempo de máquina parada para trocar e ajustar essas ferramentas, aumentando, com isso, o tempo total de produção do lote.

O projeto realizado em janeiro de 2009, apresentado na seção 4, tinha o objetivo de reduzir o consumo do *input3* em 4% e *input4* em 3%. O programa entrou em operação a partir da DMU C1L25. A Tabela 11 indica que houve aumento no consumo desses *inputs* na DMU C1L40, ou seja, 1,3 anos depois da implantação do projeto, mostrando que ainda havia perdas no processo. O segundo projeto, de maior relevância, tinha o objetivo de reduzir o consumo do *input5* em 10% a partir da DMU C1L25. Entretanto, as DMUs C1L40 e C1L41 apresentaram as maiores ineficiências em relação ao consumo deste *input* (68% e 70%). Essa análise indicou que o projeto para redução de consumo do *input5* não se sustentou ao longo do tempo, refletindo ineficiência 1,3 anos após a sua implantação. Segundo os especialistas do processo, o estado de conservação da linha C1 contribuiu para a ineficiência dos *inputs1* e 5, ultrapassando os benefícios obtidos nos projetos de melhoria. Os *inputs* de melhor eficiência entre as piores DMUs foram o *input2* e *input6*, com ineficiência de 1%.

Com base nos resultados da eficiência da linha C1, pode ser inferido que não houve mudanças significativas no decorrer dos setenta e dois lotes produzidos. Com as observações realizadas, pode ser sugerido que a eficiência não é um indicador sobre controle, em que os efeitos do processo de melhoria contínua e aprendizado não foram constatados. Existem indícios de que os principais projetos de melhoria apresentados na seção 4 não tiveram efeito no aumento da eficiência da linha C1. Na próxima etapa, será avaliada a distribuição dos rendimentos de escala da linha C1.

O Gráfico 11 ilustra a distribuição dos rendimentos de escala da linha C1 durante o período de seis anos. Tal linha teve 27% das DMUs operando em escala eficiente de produção (escala de produção máxima) e 73% em escala ineficiente de produção (crescente e decrescente).

Gráfico 11 - Distribuição do rendimento de escala linha C1



Fonte: Elaborado pelo autor.

O rendimento de escala predominante na linha C1 foi com retornos decrescentes de escala, indicando 40% das DMUs operando acima da escala ótima de produção. O rendimento decrescente de escala tem a característica de manter uma relação desproporcional entre a entrada dos insumos e a saída de produtos no sistema produtivo. Logo, nesse caso, existem evidências de que o aumento dos insumos gerou acréscimos negativos de produção. Assim, nesses termos, as DMUs produziram em escala ineficiente.

Além disso, é possível observar que 33% das DMUs da linha C1 operaram com rendimentos crescentes de escala. Esse resultado indica que tal porcentagem de DMUs atuou abaixo da sua escala ótima de produção. O motivo pode estar relacionado à baixa quantidade de insumos utilizados em relação às demais DMUs, sendo necessário aumentar a quantidade desses insumos. Na próxima seção, será apresentada a análise da eficiência da linha C2.

5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA LINHA C2

A Tabela 12 apresenta, em ordem cronológica, os setenta e dois lotes produzidos da linha C2 ao longo dos seis anos consecutivos (Janeiro de 2007 até Dezembro de 2012). Os cálculos foram utilizados para a verificação do desempenho com relação à eficiência de cada uma das unidades de análise (DMUs). As DMUs destacadas em preto são as de menor eficiência técnica VRS no período. As destacadas em cinza, representam as DMUs com maior eficiência técnica VRS.

Tabela 12 - Eficiência da linha C2

(Continua)

DMUs	MÊS	CRS	VRS	Invertida	Composta	Composta*	Eficiência de Escala	Rendimento de Escala
		Eficiência Técnica Global	Eficiência Técnica Pura					
C2L01	1	1,0000	1,0000	0,9522	0,5239	0,9757	1,0000	Constante
C2L02	2	1,0000	1,0000	0,9814	0,5093	0,9486	1,0000	Constante
C2L03	3	0,9983	1,0000	0,9503	0,5248	0,9774	0,9983	Decrescente
C2L04	4	1,0000	1,0000	0,9522	0,5239	0,9757	1,0000	Constante
C2L05	5	1,0000	1,0000	0,9569	0,5215	0,9713	1,0000	Constante
C2L06	6	1,0000	1,0000	0,9657	0,5172	0,9632	1,0000	Constante
C2L07	7	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	1,0000	Constante
C2L08	8	0,9996	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	0,9996	Crescente
C2L09	9	1,0000	1,0000	0,9516	0,5242	0,9763	1,0000	Constante
C2L10	10	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	1,0000	Constante
C2L11	11	0,9996	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	0,9996	Crescente
C2L12	12	0,9967	1,0000	0,9935	0,5033	0,9373	0,9967	Crescente
C2L13	13	0,9936	0,9937	0,9970	0,4984	0,9281	0,9999	Crescente
C2L14	14	0,9947	0,9948	0,9864	0,5042	0,9390	1,0000	Crescente
C2L15	15	0,9977	0,9980	0,9852	0,5064	0,9431	0,9997	Crescente
C2L16	16	0,9986	0,9990	0,9916	0,5037	0,9381	0,9996	Crescente
C2L17	17	0,9939	0,9940	0,9843	0,5049	0,9402	0,9999	Crescente
C2L18	18	0,9916	0,9919	0,9909	0,5005	0,9321	0,9997	Crescente
C2L19	19	0,9961	0,9963	0,9914	0,5025	0,9358	0,9997	Crescente
C2L20	20	0,9933	0,9940	1,0000	0,4970	0,9256	0,9993	Decrescente
C2L21	21	0,9953	0,9981	0,9773	0,5104	0,9506	0,9972	Decrescente
C2L22	22	1,0000	1,0000	0,9799	0,5100	0,9499	1,0000	Constante
C2L23	23	0,9922	0,9922	0,9737	0,5093	0,9484	1,0000	Crescente
C2L24	24	1,0000	1,0000	0,9816	0,5092	0,9483	1,0000	Constante
C2L25	25	0,9913	0,9979	0,9602	0,5189	0,9663	0,9933	Decrescente
C2L26	26	1,0000	1,0000	0,9788	0,5106	0,9510	1,0000	Constante
C2L27	27	0,9832	0,9841	0,9838	0,5002	0,9315	0,9991	Decrescente
C2L28	28	0,9019	0,9137	1,0000	0,4568	0,8508	0,9871	Decrescente
C2L29	29	0,9972	0,9978	0,9597	0,5190	0,9666	0,9994	Decrescente
C2L30	30	0,9942	0,9967	1,0000	0,4984	0,9281	0,9975	Decrescente
C2L31	31	0,9986	0,9987	0,9762	0,5112	0,9521	0,9999	Decrescente
C2L32	32	0,9805	0,9848	0,9743	0,5053	0,9410	0,9956	Decrescente
C2L33	33	0,9989	1,0000	0,9910	0,5045	0,9396	0,9989	Crescente
C2L34	34	0,9885	0,9888	0,9821	0,5033	0,9374	0,9998	Decrescente
C2L35	35	0,9683	0,9684	1,0000	0,4842	0,9018	0,9999	Crescente
C2L36	36	0,9123	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	0,9123	Decrescente
C2L37	37	0,9827	0,9834	0,9742	0,5046	0,9398	0,9993	Decrescente
C2L38	38	0,9793	0,9851	0,9682	0,5084	0,9469	0,9941	Decrescente
C2L39	39	1,0000	1,0000	0,9887	0,5056	0,9417	1,0000	Constante
C2L40	40	0,9990	0,9999	0,9887	0,5056	0,9416	0,9990	Decrescente
C2L41	41	0,9768	0,9794	1,0000	0,4897	0,9120	0,9973	Decrescente
C2L42	42	0,9901	0,9904	0,9680	0,5112	0,9521	0,9997	Decrescente
C2L43	43	0,9862	0,9902	0,9691	0,5106	0,9509	0,9959	Decrescente
C2L44	44	0,9803	0,9830	0,9875	0,4977	0,9270	0,9972	Decrescente
C2L45	45	0,9882	0,9936	0,9899	0,5019	0,9347	0,9945	Decrescente
C2L46	46	0,9785	0,9792	1,0000	0,4896	0,9119	0,9992	Decrescente
C2L47	47	0,9639	0,9723	0,9648	0,5037	0,9382	0,9914	Decrescente
C2L48	48	0,9883	0,9903	0,9699	0,5102	0,9502	0,9980	Decrescente
C2L49	49	0,9461	0,9611	0,9858	0,4877	0,9082	0,9844	Decrescente
C2L50	50	0,9935	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	0,9935	Crescente
C2L51	51	0,9986	0,9996	0,9820	0,5088	0,9476	0,9990	Decrescente
C2L52	52	0,9869	0,9872	0,9756	0,5058	0,9420	0,9997	Decrescente
C2L53	53	0,9623	0,9630	0,9993	0,4819	0,8974	0,9993	Decrescente
C2L54	54	0,9900	0,9900	0,9961	0,4970	0,9255	0,9999	Decrescente

(Conclusão)

DMUs	MÊS	CRS	VRS	Invertida	Composta	Composta*	Eficiência de Escala	Rendimento de Escala
		Eficiência Técnica Global	Eficiência Técnica Pura					
C2L55	55	0,9931	0,9931	0,9866	0,5032	0,9372	1,0000	Decrescente
C2L56	56	0,9665	0,9666	1,0000	0,4833	0,9001	0,9999	Decrescente
C2L57	57	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	1,0000	Constante
C2L58	58	0,9911	0,9924	1,0000	0,4962	0,9241	0,9987	Crescente
C2L59	59	1,0000	1,0000	0,9741	0,5129	0,9553	1,0000	Constante
C2L60	60	0,9854	0,9867	0,9804	0,5032	0,9371	0,9987	Decrescente
C2L61	61	0,9108	1,0000	1,0000	0,5000	0,9312	0,9108	Decrescente
C2L62	62	0,9893	1,0000	0,9261	0,5369	1,0000	0,9893	Decrescente
C2L63	63	0,9903	0,9903	0,9749	0,5077	0,9456	0,9999	Decrescente
C2L64	64	0,9734	0,9836	0,9739	0,5048	0,9402	0,9896	Decrescente
C2L65	65	0,9306	0,9487	1,0000	0,4744	0,8834	0,9810	Decrescente
C2L66	66	0,9795	0,9795	0,9858	0,4969	0,9254	0,9999	Decrescente
C2L67	67	0,9921	0,9929	0,9772	0,5079	0,9458	0,9992	Decrescente
C2L68	68	0,9776	0,9784	0,9980	0,4902	0,9129	0,9992	Decrescente
C2L69	69	0,9764	0,9781	0,9886	0,4948	0,9214	0,9983	Decrescente
C2L70	70	0,9883	0,9885	0,9877	0,5004	0,9320	0,9997	Decrescente
C2L71	71	0,9916	0,9967	0,9576	0,5195	0,9676	0,9949	Decrescente
C2L72	72	1,0000	1,0000	0,9511	0,5245	0,9768	1,0000	Constante

Fonte: Elaborado pelo autor.

As DMUs com melhores índices de eficiência VRS foram as C2L01, C2L02, C2L04, C2L05, C2L06, C2L07, C2L09, C2L10, C2L22, C2L24, C2L26, C2L39, C2L57, C2L59 e C2L72. Essas quinze DMUs representam 20,83% do total das unidades analisadas. As DMUs C2L28, C2L35, C2L41, C2L46, C2L47, C2L49, C2L53, C2L56, C2L65, C2L66, C2L68 e C2L69 apresentaram os menores índices de eficiência VRS da amostra, representando 16,66% do total das unidades analisadas.

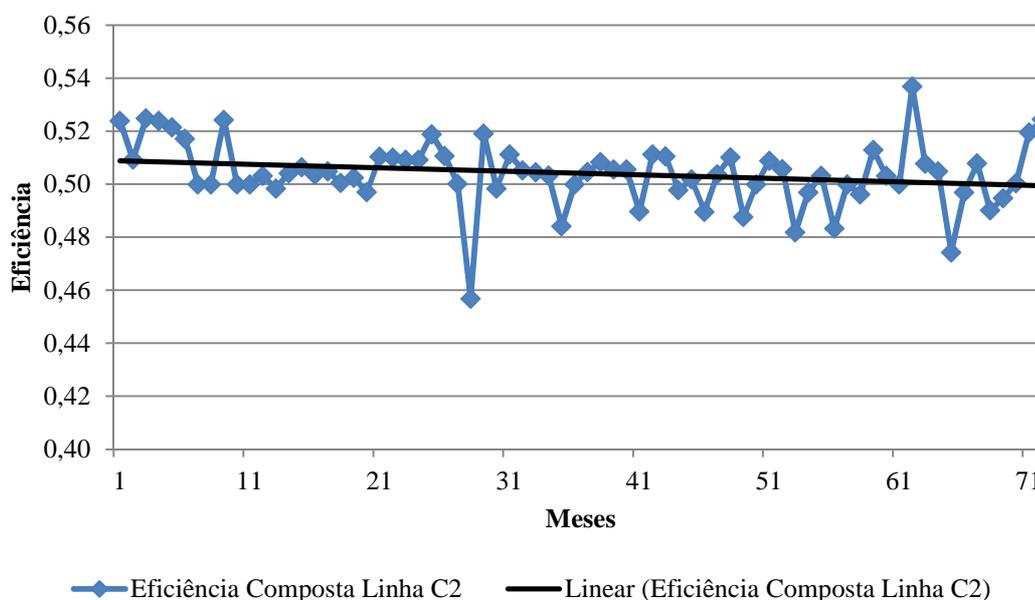
A DMU que apresentou a menor eficiência composta na amostra foi a C2L28. Seu índice de eficiência composta foi de 0,4568, ou seja, 46% operando com rendimento de escala decrescente. A amplitude de variações na eficiência composta foi em torno de -8% com tendência negativa (46% - 54%). Esse resultado indica uma variação significativa no processo produtivo, sugerindo que os efeitos de melhoria contínua e aprendizado não contribuíram para o aumento da eficiência, ao contrário, pioraram os índices de eficiência.

Além disso, é possível observar que existe uma maior concentração de DMUs com melhores índices de eficiência logo no início do período, indicando melhores práticas operacionais e presença de aprendizado e melhoria contínua. Do mesmo modo, as DMUs com menores índices de eficiência concentram-se em maior proporção na linha média final do período de análise. Isso sugere que as práticas operacionais pioraram ao longo do tempo. No final do período, a DMU C2L72 apresentou melhor desempenho na eficiência VRS, indicando uma discreta melhora das práticas operacionais no último mês da amostra estudada.

Com base nas observações realizadas, é possível inferir que a linha C2 teve diminuição da sua eficiência ao longo do tempo. Pode ser inferido que essa redução esteja associada à descontinuidade dos processos de aprendizado e de melhoria contínua, assim como a uma progressiva degeneração do parque industrial. Ao longo dos setenta e dois meses, nenhum novo equipamento foi adquirido pela empresa e nenhuma reforma ou *retrofit*⁷ realizada nessa linha de produção, que é uma das mais antigas da empresa. Outro fator relevante foi o número elevado de projetos *Kaizen* efetuados na linha. A linha C2 foi a linha com o maior índice de projetos de melhoria realizados durante os seis anos de análise. Entretanto, não foi observado aumento de eficiência ao longo do tempo.

Com isso, as observações realizadas com base na reta de tendência da eficiência composta, apresentada no Gráfico12, sugerem que a linha C2 piorou sua eficiência ao longo do tempo ($\alpha < 0$), reforçando a indicação da interferência da descontinuidade dos processos de aprendizado e de melhoria contínua na eficiência do processo, assim como a possível consequência da degeneração dos equipamentos. Segundo os especialistas do processo, a linha C2 é a que apresenta o maior índice de paradas de máquina por problemas de manutenção. O Gráfico 12 apresenta a reta de tendência com seu coeficiente angular negativo.

Gráfico 12 - Tendência de evolução da eficiência composta da linha C2



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁷ *Retrofit* é um termo utilizado para designar o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma.

Conforme observado no Gráfico 12, a reta de tendência apresenta uma declividade negativa ($\alpha < 0$), porém reduzida. A partir dessa análise, inferiu-se que o processo de aprendizado e melhoria contínua pode não ter surtido os efeitos esperados na eficiência composta da linha C2 ao longo do tempo.

A Tabela 13 apresenta a relação das DMUs de referência, *benchmark*, juntamente com os escores (λ) utilizados como parâmetro para o cálculo dos alvos tornando, com isso, a DMU eficiente.

Tabela 13 - *Benchmark* – DMUs de referência e escores (λ) da linha C2

DMU	λ	Total de referências	DMU	λ	Total de referências	DMU	λ	Total de referências
C2L01	λ_1	33	C2L09	λ_9	4	C2L36	λ_{36}	1
C2L02	λ_2	8	C2L10	λ_{10}	4	C2L39	λ_{39}	3
C2L03	λ_3	13	C2L11	λ_{11}	1	C2L50	λ_{50}	1
C2L04	λ_4	5	C2L12	λ_{12}	1	C2L57	λ_{57}	13
C2L05	λ_5	2	C2L22	λ_{22}	26	C2L59	λ_{59}	1
C2L06	λ_6	15	C2L24	λ_{24}	3	C2L61	λ_{61}	21
C2L07	λ_7	1	C2L26	λ_{26}	24	C2L62	λ_{62}	2
C2L08	λ_8	1	C2L33	λ_{33}	1	C2L72	λ_{72}	12

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 13 indica uma maior concentração de DMUs de referência distribuídas entre o primeiro e o último ano da amostra analisada⁸. Tal distribuição é diferente em relação à linha C1 apresentada anteriormente, na qual a distribuição de DMUs de referência estava mais dispersa ao longo dos anos analisados.

As DMUs C2L01, C2L22, C2L26 e C2L61 (destacadas na Tabela 13) foram as que serviram de referência (*benchmark*) para o maior número de DMUs ineficientes da amostra. Elas estão em maior concentração no início do período, indicando melhores práticas operacionais. A DMU C2L01 serve de referência para 33 DMUs ineficientes. Do mesmo modo, a C2L22 serve de referência para 26 DMUs ineficientes, a C2L26 para 24 e a C2L61 para 21 DMUs ineficientes.

Com base na análise dos dados obtidos, é possível inferir que as melhores práticas operacionais aconteceram em maior intensidade no início do período. Esse fato pode ser reforçado pela maior concentração e influência das DMUs de referência, *benchmark*, logo no início do período de análise.

⁸ A tabela para visualização da concentração das DMUs de referência está contida no anexo B.

A Tabela 14 ilustra os valores dos alvos e ineficiências no uso dos recursos produtivos (*inputs*) das piores DMUs da linha C2. Esse indicador consiste em uma importante ferramenta para verificar qual dos *inputs* está sendo consumido em excesso pelas DMUs ineficientes. Com essa visão, o gestor pode direcionar ações específicas para aumentar a eficiência das DMUs ineficientes com base no *benchmark* interno. A empresa estudada não dispõe desse tipo de ferramenta para avaliação da ineficiência dos *inputs*. Contudo, a análise dos alvos representa uma importante contribuição para a realização de ações de melhoria e verificação do efeito dessas ações ao longo do tempo. A Tabela 14 apresenta, em detalhes, os resultados dos alvos obtidos pelas piores DMUs da linha C2.

Tabela 14 - Relação dos alvos e ineficiências das DMUs de menor eficiência da linha C2

DMU		<i>Input1</i>	<i>Input2</i>	<i>Input3</i>	<i>Input4</i>	<i>Input5</i>	<i>Input6</i>
C2L28	Valor atual	63	181.343	5.667	312	17	179.749
	Alvo	58	164.378	5.153	285	10	164.228
	Ineficiência	9%	9%	9%	9%	41%	9%
C2L35	Valor atual	261	594.729	18.199	1.017	37	591.648
	Alvo	214	574.685	17.623	985	15	572.938
	Ineficiência	18%	3%	3%	3%	60%	3%
C2L41	Valor atual	126	314.999	9.497	573	43	309.111
	Alvo	123	304.614	9.301	529	6	302.742
	Ineficiência	2%	3%	2%	8%	85%	2%
C2L46	Valor atual	171	283	8.915	507	27	277.588
	Alvo	117	273	8.572	483	4	271.827
	Ineficiência	32%	3%	4%	5%	85%	2%
C2L47	Valor atual	81	189.140	5.769	337	9	185.695
	Alvo	79	181.493	5.609	318	8	180.548
	Ineficiência	3%	4%	3%	6%	14%	3%
C2L49	Valor atual	72	131.494	4.011	234	13	127.701
	Alvo	68	123.422	3.815	219	8	122.735
	Ineficiência	6%	6%	5%	6%	38%	4%
C2L53	Valor atual	135	393.838	12.327	701	7	395.938
	Alvo	130	379.277	11.871	667	4	378.494
	Ineficiência	4%	4%	4%	5%	42%	4%
C2L56	Valor atual	180	537.704	16.669	1.022	20	534.904
	Alvo	174	518.892	16.112	866	17	517.054
	Ineficiência	3%	3%	3%	15%	16%	3%
C2L65	Valor atual	108	127.209	3.880	220	9	126.138
	Alvo	58	120.143	3.680	209	9	119.667
	Ineficiência	46%	6%	5%	5%	5%	5%
C2L66	Valor atual	135	402.883	12.812	721	13	401.003
	Alvo	132	394.325	12.402	668	9	392.799
	Ineficiência	2%	2%	3%	7%	30%	2%
C2L68	Valor atual	135	288.765	9.096	511	33	287.263
	Alvo	114	282.519	8.871	498	4	281.049
	Ineficiência	16%	2%	2%	3%	87%	2%
C2L69	Valor atual	126	387.305	11.813	705	23	379.391
	Alvo	123	372.615	11.554	655	7	371.073
	Ineficiência	2%	4%	2%	7%	70%	2%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *input* de maior impacto na ineficiência das DMUs C2L28, C2L35, C2L41, C2L46, C2L47, C2L49, C2L53, C2L56, C2L66, C2L68 e C2L69 foi o *input5*. O *input1* também foi significativo nas DMUs C2L35, C2L46 e C2L65. O *input4* teve maior impacto na DMU C2L56. O *input5* foi o *input* de maior ineficiência, exceto na DMU C2L65 (5%), onde o *input1* foi o mais relevante (46%). O *input6*, também apresentou ineficiência ao longo do tempo.

O estudo mostrou percentuais elevados de ineficiência no consumo do *input5*, sendo que a DMU com maior ineficiência nesse quesito foi a C2L68, que chegou a uma ineficiência de 87%. Além disso, o *input1* também apresentou índices elevados de ineficiência, com destaque nas DMUs C2L46 e C2L65.

Percebe-se uma maior incidência de ineficiência dos alvos nas DMUs concentradas no final do período de análise. Nota-se, também, ineficiências nos *inputs* 2, 3, 4 e 6. Esse resultado difere em relação à linha C1, indicando piores práticas operacionais e um índice elevado de *inputs* ineficientes.

Contudo, as linhas de produção C1 e C2 são equivalentes, ou seja, têm o mesmo número de máquinas e operações. A diferença, segundo especialistas do processo, está relacionada ao estado de conservação e à idade de cada uma das linhas. A linha C2, além de ser mais antiga, apresenta pior estado de conservação em relação à linha C1. Essa observação abordada pelos especialistas pode justificar a maior incidência de *inputs* com ineficiência na linha C2.

Para os especialistas do processo, o consumo excessivo dos *inputs* 1, 2, 3, 4, 5 e 6 está relacionado ao estado de conservação e à obsolescência da linha C2. Dentre as três linhas estudadas, a C2 apresenta o pior estado de conservação e o maior índice de intervenções para manutenção corretiva. Com isso, sugere-se que os principais projetos de melhoria podem não ter surtido efeito na eficiência ao longo do tempo em função das condições precárias da linha.

O projeto realizado em janeiro de 2009, conforme apresentado na seção 4, buscava reduzir o consumo do *input3* em 4% e do *input4* em 3%. Logo, a iniciativa entrou em operação a partir da DMU C1L25. A Tabela 14 apresenta ineficiência no consumo do *input4* e *input3* da DMU C2L28 até a C2L69, ou seja, próximo ao final do período de análise. Verifica-se que, após 3,7 anos da implantação do projeto, a linha C2 ainda tem ineficiências no consumo dos *inputs* 3 e 4 (principais matérias-primas do processo). Esse resultado pode indicar que o projeto para a redução do consumo dos *inputs* 3 e 4 não melhorou a eficiência na linha C2.

Um aspecto interessante de se observar nesse caso diz respeito ao segundo projeto de melhoria, considerado de maior relevância para a empresa. Ele tinha o objetivo de reduzir o consumo do *input5* em 10% a partir da DMU C2L25. No entanto observou-se, por meio dos alvos, um consumo elevado do *input5* nas DMUs ineficientes a partir da DMU C2L28, chegando a um índice 87% de ineficiência na C2L68. Logo, a análise indicou que o projeto para redução do consumo do *input5* não foi efetivo ao longo do tempo. As ineficiências do *input5* persistiram após 3,7 anos desde a implantação do projeto.

Os especialistas afirmam que em função das condições precárias da linha C2, os benefícios obtidos nos projetos de melhoria não surtiram efeito para eliminar totalmente as perdas no processo. Contudo, apontam esses benefícios como uma importante contribuição para a manutenção da linha ao longo do tempo, o que contribuiu para o atendimento das demandas de mercado.

Com base nos resultados da eficiência da linha C2, pode ser inferido que o processo de aprendizado e melhoria contínua teve influência positiva na eficiência produtiva logo no primeiro período. A linha C2 teve 11 projetos de *Kaizen* no ano de 2007 e 14 no ano de 2008. Nos anos de 2009 a 2012, a média de projetos *Kaizen* foi de 4 por ano. Esse resultado dá indícios de que a maior concentração de ações de melhoria nos dois anos iniciais pode ter contribuído para a melhoria da eficiência no primeiro período. Além disso, os especialistas do processo afirmam que no início do período de análise a linha C2 contava com experientes operadores e mecânicos. Tal condição pode ter contribuído para aumentar a eficiência no período em questão.

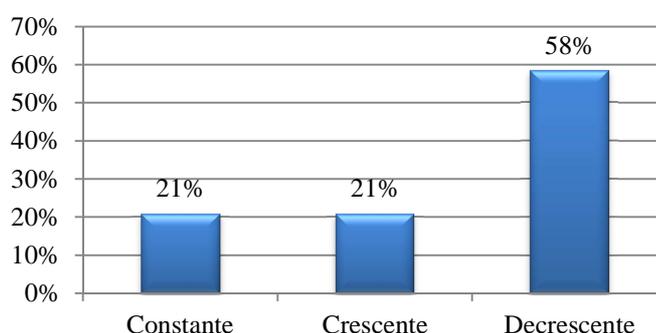
Mesmo com melhor eficiência no primeiro período, o índice não se sustentou nos anos posteriormente analisados, indicando declínio ao longo do tempo. Percebe-se que existe um bom indicador de que a eficiência piorou ao longo do tempo, tendo discreta melhora somente no final do período de análise.

De acordo com as observações realizadas, pode ser inferido que a eficiência da linha C2 não melhorou. Os efeitos do processo de melhoria contínua e aprendizado foram percebidos somente no início do período. Outro aspecto relevante a ser considerado na análise diz respeito às condições dos recursos produtivos. A linha de produção em questão é uma das linhas mais antigas e mal conservadas da empresa. Dessa forma, esse fator pode ter contribuído para a queda da eficiência produtiva ao longo do tempo. Assim, pode ser sugerido que o excesso de consumo do *input5* e *input1*, está associado à qualidade e conservação dos recursos produtivos existentes. Além disso, a linha contou com elevado índice de intervenções

de manutenções corretivas, o que foi outro fator desfavorável para o aumento da ineficiência. Na próxima etapa, será avaliada a distribuição dos rendimentos de escala da linha C2.

O Gráfico 13 apresenta distribuição dos rendimentos de escala da linha C2, que teve 21% das DMUs operando em escala eficiente de produção (escala de produção máxima) e 79% em escala ineficiente de produção (crescente e decrescente). Esse resultado difere da linha C1, que apresentou 26% das DMUs em escala eficiente e 73% em escala ineficiente.

Gráfico 13 - Distribuição do rendimento de escala da linha C2



Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 13 indica que a linha C2 teve maior número de DMUs operando com excesso de insumos em relação à linha C1. Além disso, a linha C2 teve menor índice de DMUs em escala eficiente em relação à anterior. O rendimento de escala predominante na linha C2 também se concentrou nos retornos decrescentes de escala, indicando 58% das DMUs operando acima da escala ótima de produção. Entretanto, 21% das DMUs operaram com rendimentos crescentes de escala, indicando uma baixa utilização dos insumos em relação às demais DMUs. Na próxima seção, será apresentada a análise da eficiência da linha C3.

5.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA LINHA C3

A terceira linha estudada possui apenas três *inputs* e um *output*. A Tabela 15 apresenta, em ordem cronológica, os setenta e dois lotes produzidos na linha C3 ao longo dos seis anos consecutivos (72 meses). Os valores calculados têm o objetivo de analisar o desempenho de cada DMU e do período como um todo. As DMUs destacadas em preto representam as de menor eficiência técnica VRS no período. As destacadas em cinza, representam as com maior eficiência técnica VRS no período.

Tabela 15 - Eficiência da linha C3

(Continua)

DMUs	MÊS	CRS	VRS	Invertida	Composta	Composta*	Eficiência de Escala	Rendimento de Escala
		Eficiência Técnica Global	Eficiência Técnica Pura					
C3L01	1	0,7585	1,0000	1,0000	0,5000	0,8753	0,7585	Decrescente
C3L02	2	0,8371	1,0000	1,0000	0,5000	0,8753	0,8371	Decrescente
C3L03	3	0,9466	0,9496	0,9424	0,5036	0,8817	0,9968	Decrescente
C3L04	4	0,9232	0,9356	1,0000	0,4678	0,8189	0,9867	Decrescente
C3L05	5	0,9635	0,9643	0,9683	0,4980	0,8718	0,9992	Decrescente
C3L06	6	0,9720	0,9722	0,9761	0,4981	0,8719	0,9997	Decrescente
C3L07	7	0,9494	0,9496	1,0000	0,4748	0,8312	0,9998	Decrescente
C3L08	8	0,9826	0,9837	0,9828	0,5004	0,8761	0,9989	Crescente
C3L09	9	0,9835	0,9846	0,9814	0,5016	0,8781	0,9989	Crescente
C3L10	10	0,9735	0,9736	0,9834	0,4951	0,8667	0,9999	Decrescente
C3L11	11	0,9826	0,9827	0,9718	0,5055	0,8849	0,9999	Decrescente
C3L12	12	0,9922	0,9931	0,9693	0,5119	0,8961	0,9991	Crescente
C3L13	13	0,9302	0,9316	1,0000	0,4658	0,8154	0,9985	Decrescente
C3L14	14	0,9894	0,9895	1,0000	0,4948	0,8661	0,9999	Decrescente
C3L15	15	0,9876	0,9878	0,9714	0,5082	0,8897	0,9998	Crescente
C3L16	16	0,9840	0,9848	0,9906	0,4971	0,8702	0,9993	Crescente
C3L17	17	0,9771	0,9778	0,9874	0,4952	0,8669	0,9993	Crescente
C3L18	18	0,9843	0,9846	1,0000	0,4923	0,8618	0,9997	Crescente
C3L19	19	0,9821	0,9875	1,0000	0,4937	0,8644	0,9945	Crescente
C3L20	20	0,9805	0,9821	0,9867	0,4977	0,8712	0,9984	Crescente
C3L21	21	0,9895	1,0000	0,9836	0,5082	0,8897	0,9895	Crescente
C3L22	22	0,9948	0,9998	0,9804	0,5097	0,8923	0,9950	Crescente
C3L23	23	0,9881	0,9890	0,9384	0,5253	0,9196	0,9991	Decrescente
C3L24	24	0,9884	0,9892	0,9379	0,5257	0,9202	0,9991	Decrescente
C3L25	25	0,9918	0,9938	0,9276	0,5331	0,9333	0,9979	Decrescente
C3L26	26	0,9865	0,9878	0,9356	0,5261	0,9210	0,9986	Decrescente
C3L27	27	0,9875	0,9879	0,9559	0,5160	0,9033	0,9996	Decrescente
C3L28	28	0,9818	0,9822	0,9616	0,5103	0,8934	0,9996	Decrescente
C3L29	29	0,9842	0,9850	0,9537	0,5157	0,9027	0,9991	Decrescente
C3L30	30	0,9741	0,9745	0,9706	0,5020	0,8787	0,9996	Decrescente
C3L31	31	0,9723	0,9725	0,9825	0,4950	0,8665	0,9998	Decrescente
C3L32	32	0,9769	0,9793	0,9897	0,4948	0,8662	0,9975	Crescente
C3L33	33	0,9676	0,9733	1,0000	0,4867	0,8519	0,9941	Crescente
C3L34	34	0,9765	1,0000	1,0000	0,5000	0,8753	0,9765	Crescente
C3L35	35	0,9831	0,9832	0,9945	0,4944	0,8655	0,9998	Crescente
C3L36	36	0,9768	0,9777	0,9455	0,5161	0,9035	0,9990	Decrescente
C3L37	37	0,9458	1,0000	0,8575	0,5712	1,0000	0,9458	Decrescente
C3L38	38	0,9767	0,9796	0,9341	0,5227	0,9151	0,9971	Decrescente
C3L39	39	0,9878	0,9878	0,9703	0,5087	0,8906	1,0000	Decrescente
C3L40	40	0,9907	0,9916	0,9665	0,5126	0,8973	0,9991	Crescente
C3L41	41	1,0000	1,0000	0,9172	0,5414	0,9478	1,0000	Constante
C3L42	42	0,9867	0,9878	0,9435	0,5221	0,9141	0,9989	Decrescente
C3L43	43	0,9888	0,9889	0,9661	0,5114	0,8953	0,9999	Decrescente
C3L44	44	0,9787	0,9790	0,9708	0,5041	0,8825	0,9997	Decrescente
C3L45	45	0,9846	0,9848	0,9646	0,5101	0,8930	0,9998	Decrescente
C3L46	46	0,9810	0,9816	0,9526	0,5145	0,9007	0,9994	Decrescente
C3L47	47	0,9858	0,9865	0,9749	0,5058	0,8854	0,9993	Crescente
C3L48	48	0,9895	0,9896	0,9644	0,5126	0,8973	0,9999	Decrescente
C3L49	49	0,9778	0,9830	0,9169	0,5331	0,9332	0,9948	Decrescente
C3L50	50	0,9921	0,9954	0,9105	0,5424	0,9495	0,9967	Decrescente
C3L51	51	0,9918	0,9919	0,9603	0,5158	0,9030	0,9998	Decrescente
C3L52	52	0,9867	0,9874	0,9476	0,5199	0,9101	0,9994	Decrescente
C3L53	53	1,0000	1,0000	0,9589	0,5206	0,9113	1,0000	Constante
C3L54	54	0,9983	1,0000	0,9682	0,5159	0,9032	0,9983	Crescente

(Conclusão)

DMUs	MÊS	CRS	VRS	Invertida	Composta	Composta*	Eficiência de Escala	Rendimento de Escala
		Eficiência Técnica Global	Eficiência Técnica Pura					
C3L55	55	0,9989	0,9989	0,9590	0,5199	0,9102	1,0000	Decrescente
C3L56	56	0,9893	0,9897	0,9546	0,5175	0,9060	0,9996	Decrescente
C3L57	57	0,9942	0,9944	0,9559	0,5193	0,9090	0,9998	Decrescente
C3L58	58	0,9986	1,0000	0,9088	0,5456	0,9552	0,9986	Decrescente
C3L59	59	1,0000	1,0000	0,9485	0,5257	0,9203	1,0000	Constante
C3L60	60	0,9956	1,0000	0,8634	0,5683	0,9949	0,9956	Decrescente
C3L61	61	0,9925	1,0000	0,8614	0,5693	0,9966	0,9925	Decrescente
C3L62	62	0,9973	0,9980	0,9379	0,5301	0,9279	0,9993	Decrescente
C3L63	63	0,9972	1,0000	0,9224	0,5388	0,9432	0,9972	Decrescente
C3L64	64	0,9943	0,9947	0,9524	0,5212	0,9123	0,9996	Decrescente
C3L65	65	0,9926	0,9927	0,9605	0,5161	0,9035	0,9999	Decrescente
C3L66	66	0,9939	0,9940	0,9602	0,5169	0,9049	0,9999	Decrescente
C3L67	67	0,9931	0,9949	0,9714	0,5117	0,8958	0,9982	Crescente
C3L68	68	0,9853	0,9853	0,9724	0,5064	0,8866	1,0000	Decrescente
C3L69	69	0,9891	0,9892	0,9670	0,5111	0,8947	0,9999	Decrescente
C3L70	70	0,9863	0,9863	0,9721	0,5071	0,8877	1,0000	Decrescente
C3L71	71	0,9926	1,0000	0,9008	0,5496	0,9621	0,9926	Decrescente
C3L72	72	0,9963	1,0000	0,9359	0,5320	0,9314	0,9963	Decrescente

Fonte: Elaborado pelo autor.

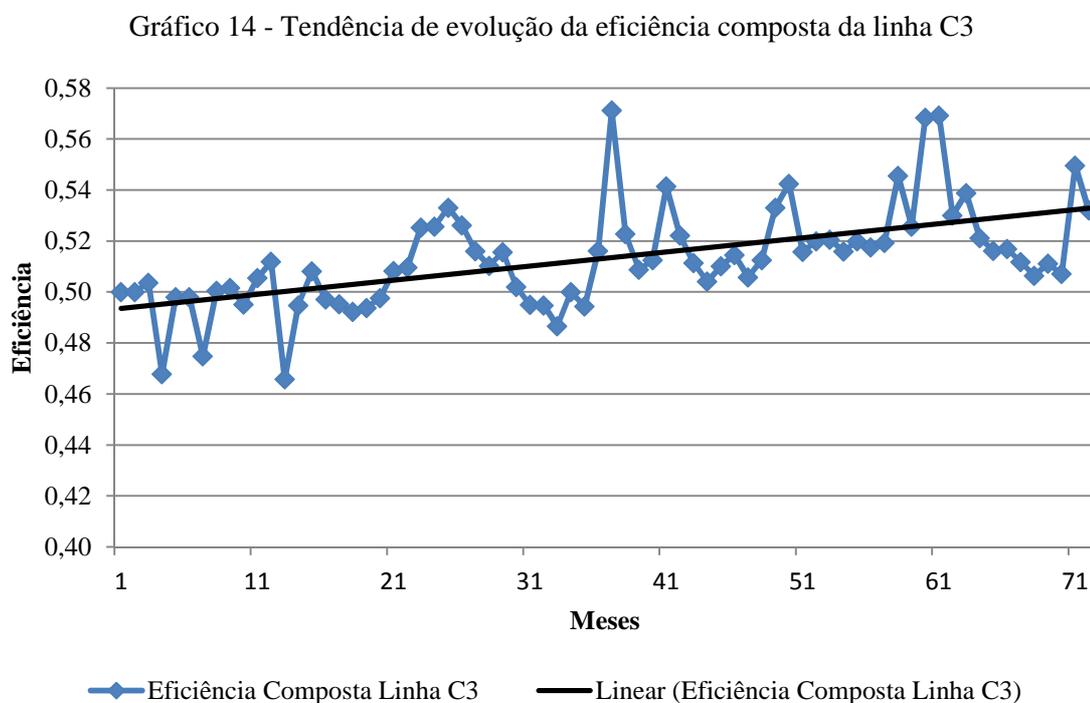
As DMUs que apresentaram maiores índices de eficiência VRS foram as C3L41, C3L53 e C3L59. Estas representam 4,17% do total das unidades analisadas e operaram em escala de produção eficiente, com retornos constantes de escala. Por outro lado, as DMUs C3L03, C3L04, C3L05, C3L06, C3L07, C3L10, C3L13, C3L30, C3L31e C3L33 são as que mostraram menores índices de eficiência VRS da amostra, representando 13,88% do total das unidades analisadas. Além disso, elas operaram em escala ineficiente, ou seja, com retornos crescentes ou decrescentes. A DMU que apresentou a menor eficiência composta na amostra foi a C3L13. Seu índice de eficiência composta foi de 0,4658, ou seja, 47%. A amplitude de variações na eficiência composta foi de 10% (57% - 47%). A variação foi significativa no processo produtivo, o que sugere que a melhoria contínua surtiu efeito para o aumento da eficiência.

Na linha C3 ocorreu o oposto à linha C2. Fica evidente a visualização de uma maior concentração de DMUs com menor índice de eficiência logo no início do período, indicando as piores práticas operacionais. Contudo, as DMUs com maiores índices de eficiência encontram-se a partir da C3L37 em direção ao final do período de análise. Isso sugere que as práticas operacionais melhoraram ao longo do tempo. Para o final do período, existe uma sequência de DMUs com bons resultados operacionais (C3L41 até C3L72), o que sugere uma discreta melhora das práticas operacionais no final do período.

Com base nas observações realizadas, é possível inferir que a linha C3 melhorou sua eficiência ao longo do tempo. Esse fato pode estar associado ao processo de aprendizado e melhoria contínua. A linha de produção, apesar de ser antiga, conta com maquinário em bom estado de conservação.

Outro fator importante é o tempo de permanência dos funcionários na mesma linha de produção. A linha é operada pela mesma equipe de funcionários desde 2008, diferentemente das linhas C1 e C2, em que diversos funcionários trocaram de setor ou foram desligados. Essa distinção pode ter contribuído para o aumento da eficiência ao longo do tempo, considerando a hipótese da melhoria da eficiência por meio do aprendizado. Outro fator relevante foram os 38 projetos de *Kaizen* realizados ao longo de seis anos. Estes tinham como objetivo principal reduzir o consumo do *input5*, o tempo de *setup* e o consumo do *input2*.

As observações realizadas com base na linha de tendência da eficiência composta, apresentada no Gráfico14, sugerem que a linha C3 melhorou sua eficiência ao longo do tempo, reforçando a influência do processo de aprendizado e melhoria contínua na eficiência do processo. A reta de tendência do Gráfico14 apresenta seu coeficiente angular positivo, indicando aumento da eficiência composta ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 14 destaca a tendência de evolução da eficiência composta referente à linha C3. A reta de tendência apresenta uma declividade positiva e representativa ($\alpha > 0$). A partir dessa análise, pode ser inferido que o processo de aprendizado e melhoria contínua refletiu positivamente na eficiência composta da linha C3.

A Tabela 16 apresenta a relação das DMUs de referência, *benchmark*, juntamente com os escores (λ) utilizados como parâmetro para o cálculo dos alvos tornando, com isso, a DMU eficiente. A análise indicou uma maior concentração de DMUs de referência distribuídas entre o penúltimo ano (2011) e o último ano (2012) da amostra analisada⁹.

Tabela 16 - *Benchmark* – DMUs de referência e escores (λ) da linha C3

DMU	λ	Total de referências	DMU	λ	Total de referências	DMU	λ	Total de referências
C3L01	λ_1	1	C3L41	λ_{41}	3	C3L60	λ_{60}	4
C3L02	λ_2	1	C3L53	λ_{53}	49	C3L61	λ_{61}	8
C3L21	λ_{21}	5	C3L54	λ_{54}	17	C3L63	λ_{63}	1
C3L34	λ_{34}	1	C3L58	λ_{58}	40	C3L71	λ_{71}	1
C3L37	λ_{37}	3	C3L59	λ_{59}	4	C3L72	λ_{72}	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

As DMUs C3L53 e C3L58 (destacadas na Tabela 16) foram as que serviram de referência (*benchmark*) para o maior número de DMUs ineficientes da amostra. Elas estão em maior concentração no final do período. A DMU C3L53 serve de referência para 49 DMUs ineficientes. Do mesmo modo, a C3L58 serve de referência para 40 DMUs ineficientes.

Com base na análise dos dados obtidos, é possível inferir que as melhores práticas operacionais aconteceram de forma crescente ao longo do período de análise. Esse fato pode ser reforçado pela maior concentração e influência das DMUs de referência, *benchmark* conforme indicado na Tabela 16. A linha C3 apresenta melhor desempenho de eficiência ao longo do tempo em relação às C1 e C2.

A Tabela 17 ilustra os valores dos alvos e ineficiências no uso dos recursos produtivos (*inputs*) das piores DMUs da amostra referente à linha C3. Os *inputs* de maior relevância na ineficiência das DMUs C3L03, C3L04, C3L05, C3L06, C3L07, C3L10, C3L13, C3L30, C3L31 e C3L33 foram: *input1* e *input3*. O *input3* foi o de maior ineficiência em todas as 10 DMUs analisadas.

⁹ A tabela para visualização da concentração das DMUs de referência está contida no anexo C.

Tabela 17 - Relação dos alvos e ineficiências das DMUs de menor eficiência da linha C3

DMU		<i>Input1</i>	<i>Input2</i>	<i>Input3</i>
C3L03	Valor atual	99	86.136	20
	Alvo	62	81.796	8
	Ineficiência	37%	5%	61%
C3L04	Valor atual	54	66.843	29
	Alvo	42	62.539	9
	Ineficiência	22%	6%	69%
C3L05	Valor atual	153	173.530	26
	Alvo	109	167.330	11
	Ineficiência	29%	4%	56%
C3L06	Valor atual	171	266.480	62
	Alvo	158	259.071	14
	Ineficiência	8%	3%	78%
C3L07	Valor atual	225	277.984	73
	Alvo	160	263.969	14
	Ineficiência	29%	5%	81%
C3L10	Valor atual	261	335.231	50
	Alvo	194	326.365	15
	Ineficiência	26%	3%	69%
C3L13	Valor atual	171	121.064	35
	Alvo	79	112.785	10
	Ineficiência	54%	7%	72%
C3L30	Valor atual	198	230.231	41
	Alvo	139	224.366	13
	Ineficiência	30%	3%	69%
C3L31	Valor atual	243	292.348	49
	Alvo	171	284.294	14
	Ineficiência	30%	3%	71%
C3L33	Valor atual	369	517.070	56
	Alvo	327	503.266	38
	Ineficiência	11%	3%	32%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A linha C3 utiliza operações com prensas, calibração e usinagem. Tais processos, além de exigirem maior tempo de *setup* dos equipamentos, também são mais vulneráveis a quebras de ferramentas. Outro aspecto interessante está em relação à concentração das DMUs de maior ineficiência. Estas estão, em sua maioria, concentradas em maior quantidade nos dois primeiros anos de análise, indicando um período de piores práticas operacionais.

Essa linha teve dois importantes projetos de melhoria realizados ao longo do período de análise. O primeiro deles foi realizado em janeiro de 2009, conforme apresentado na seção 4, com o objetivo de reduzir o consumo do *input3* em 10% a partir da DMU C3L25. Contudo, observaram-se três DMUs com elevada ineficiência nesse insumo (C3L30, C3L31 e C3L33) após o período de implantação do projeto. Tal fato apresenta indícios de que os resultados do programa de redução do *input3* não surgiram logo após a sua implantação. Logo, é possível observar que a maior concentração de DMUs com elevada ineficiência no consumo do *input3* está em maior grau antes do período em que o projeto foi iniciado.

Contudo, a linha C3 foi a que apresentou a menor concentração de DMUs com ineficiência no *input3* após a implantação do projeto. Esse resultado sugere que a linha C3 foi a que mais obteve efeitos positivos do projeto para redução no consumo do *input3*. Segundo os especialistas do processo, o *input1* tempo está associado às quebras de ferramentas e ao tempo prolongado para *setup*. Nesse sentido, a linha C3 teve um segundo projeto de melhoria realizada em junho de 2011 (apresentado na seção 4). Este tinha o objetivo de modificar o sistema de alimentadores do *input2* e, com isso, reduzir o tempo de *setup* em 15% e o consumo do *input2* em 3%.

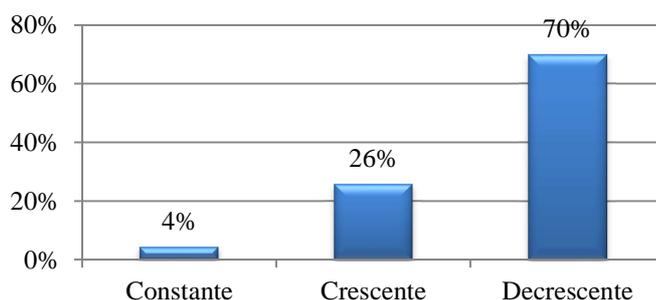
O segundo projeto teve início a partir da DMU C3L54. A Tabela 17 apresenta evidências de bons resultados em relação a esse projeto, pois não apresenta DMUs ineficientes em relação ao tempo e consumo do *input2* a partir da DMU C3L54. Outro aspecto relevante diz respeito à concentração de DMUs de referência (*benchmark*) a partir da DMU C3L54. Nesse caso, existem 7 DMUs com as melhores práticas operacionais concentradas após a realização do segundo projeto.

De acordo com os resultados da eficiência da linha C3, pode ser inferido que ela teve influência positiva do processo de aprendizado e melhoria contínua, e também do bom estado de conservação das máquinas. Logo, essa condição favoreceu o aumento da eficiência produtiva ao longo do tempo. De acordo com a reta de tendência da eficiência composta apresentada no Gráfico 14, pode ser inferido que a eficiência melhorou ao longo do tempo, indicando uma significativa melhora no final do período.

Outro aspecto relevante a ser considerado na análise diz respeito às condições dos recursos produtivos. A linha de produção analisada é uma das que teve um bom índice de investimentos em melhorias, e também uma baixa rotatividade dos funcionários. Esses fatores podem representar uma contribuição importante para o aumento da eficiência produtiva ao longo do tempo. Assim, pode-se dizer que o excesso de consumo do *input3* e do *input1*, tem uma componente associada à qualidade e conservação dos recursos produtivos. Na próxima etapa, será avaliada a distribuição dos rendimentos de escala da linha C3.

O Gráfico 15 apresenta a distribuição dos rendimentos de escala da linha C3. A linha em questão teve apenas 4% das DMUs operando em escala eficiente de produção (escala de produção máxima) e 96% em escala ineficiente de produção (crescente e decrescente). Esse resultado difere das linhas C1 e C2, indicando ser a que teve o maior número de DMUs operando em escala ineficiente de produção.

Gráfico 15 – Distribuição do rendimento de escala linha C3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, mesmo com 96% das DMUs operando em escala ineficiente, a linha C3 teve a melhor eficiência composta em relação às C1 e C2. Para os especialistas do processo, os picos de produção na linha C3 levam a um maior consumo de ferramentas (*input3*). Logo, existem evidências de que o excesso do *input3* pode tornar os acréscimos de produção negativos, entrando em uma escala com rendimentos decrescentes (escala ineficiente). Segundo os especialistas, a principal causa das quebras de ferramenta oriundas do aumento de volume de produção, está relacionada a dois principais fatores: a folgas nas guias e barramentos das prensas (geradas pela intensa quantidade de golpes, sem o ajuste periódico) e ao descuido dos funcionários em função do atingimento de metas de produção, acelerando a linha para recuperar atrasos.

Assim, nesses termos, as abordagens indicam que o progresso tecnológico seria uma solução viável para impedir a ineficiência resultante do aumento de volume. (FERREIRA; GOMES, 2009). Contudo, a aquisição de uma nova linha com máquinas modernas, robustas e resistentes ao desgaste, poderia reduzir o consumo excessivo de ferramentas durante os aumentos de produção.

Nesta seção, foram apresentados os dados calculados por meio da Análise Envoltória de Dados. Para a análise, foram utilizados Gráficos e Tabelas para auxílio na interpretação dos resultados obtidos. No Quadro 25, é apresentado o resumo das análises realizadas nos três modelos de linhas (C1, C2, C3). Além disso, também é mostrada a avaliação qualitativa e quantitativa referente à presença do processo de aprendizado e de melhoria contínua, juntamente com os resultados da variação da eficiência composta dos modelos estudados.

Quadro 25 - Análise comparativa das eficiências composta VRS das linhas.

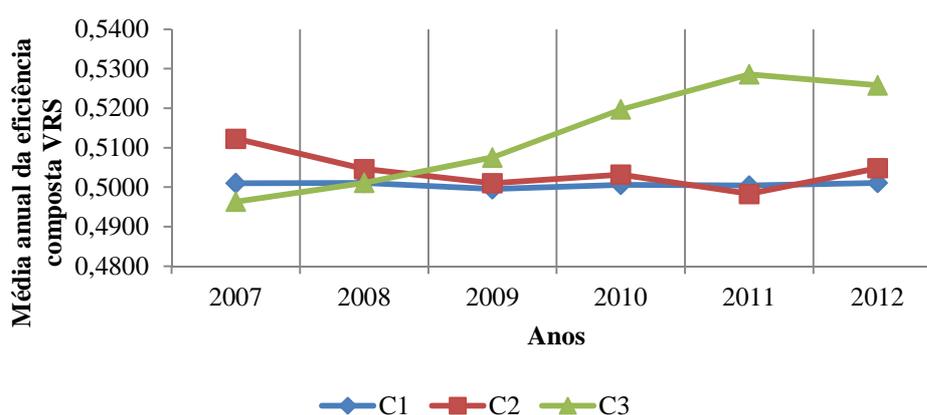
Linha	Presença do processo de aprendizado e melhoria contínua	Reta de tendência da eficiência composta	Amplitude da eficiência composta VRS
C1	Não observado	Permaneceu a mesma	+ 2%
C2	Não observado	Piorou	- 8%
C3	Observado	Melhorou	+ 10%

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a linha C3 foi a com melhor índice de eficiência composta da amostra. Além disso, existem bons indícios da presença do processo de aprendizado e melhoria contínua nessa linha de produção. Por outro lado, a linha com pior desempenho foi a C2, indicando declividade negativa na reta de tendência e apresentando sinais de que as ações de melhoria não surtiram efeito na eficiência. Do mesmo modo, a linha C1 manteve-se constante, ou seja, não foram percebidas variações relevantes na eficiência composta ao longo do tempo.

Logo, pode ser concluído, que as linhas de produção com piores condições de conservação, foram as que apresentaram os piores resultados de eficiência. Além disso, pode ser sugerido que os programas de melhoria nessas linhas não foram suficientes para aumentar a eficiência. Contudo, é provável que as ações realizadas nas linhas C1 e C2 serviram apenas para mantê-las em funcionamento e atender as demandas do mercado. O Gráfico 16 apresenta as variações de eficiência composta das três linhas ao longo do tempo.

Gráfico 16 – Média anual das eficiências composta VRS das linhas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados apresentados no Gráfico 16, é notável a diferença da eficiência da linha C3 em relação às C1 e C2. No ano de 2011, a linha C3 atingiu a melhor eficiência dos seis anos de análise. Tal ano representa o intervalo entre as DMUs de C3L49 a

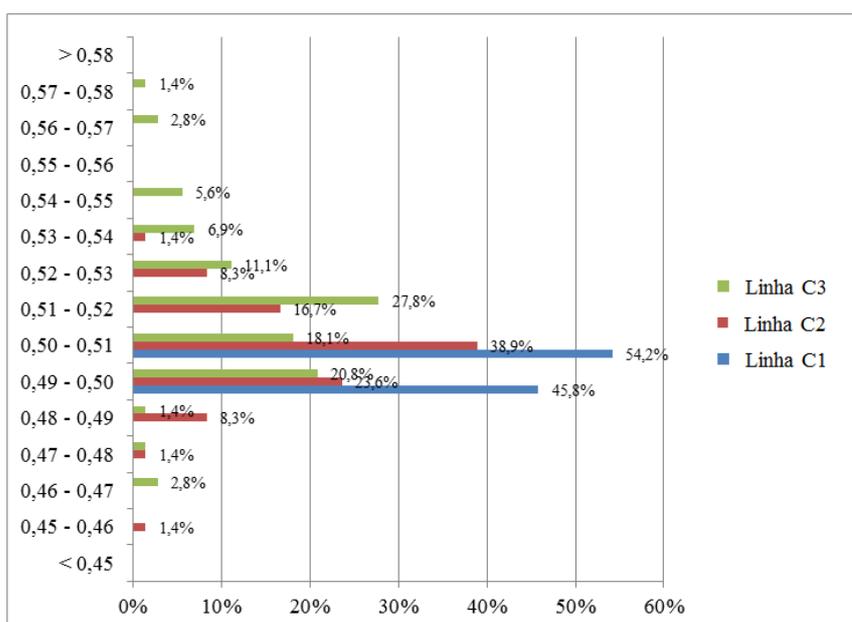
C3L60. Na metade desse intervalo (Junho/2011), foi realizado o projeto de troca dos alimentadores do *input*2. Pode ser inferido que esse projeto contribuiu para melhora da eficiência. Do mesmo modo, nesse mesmo intervalo, estão as DMUs de referência mais importantes da amostra (C3L53 e C3L58), apresentadas na Tabela 15. Além disso, pode ser observado que o projeto realizado em 2009 referentes à troca do aço das ferramentas também contribuiu para aumentar a eficiência da linha C3.

Por outro lado, existem evidências de que os dois projetos de maior relevância realizados em 2009 nas linhas dos cartuchos C1 e C2, conforme apresentado na seção 4, não surtiram efeito no aumento da eficiência. Esses projetos tinham o objetivo de reduzir o consumo dos *inputs*: 3, 4 e 5. Contudo, percebe-se que a média da eficiência composta nos anos seguintes não teve aumento significativo. Na próxima seção, será apresentada a distribuição de frequências de eficiência composta das linhas C1, C2 e C3.

5.4 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DAS EFICIÊNCIAS

Nesta seção é apresentada a distribuição de frequências da eficiência composta referente aos seis anos de produção de cada uma das linhas. O Gráfico 17 apresenta a distribuição de frequência para a eficiência das DMUs das linhas C1, C2 e C3, calculada a partir de 72 DMUs para cada produto.

Gráfico 17 - Distribuição de frequência da eficiência composta VRS orientada a *input* das linhas C1, C2 e C3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado no Gráfico 17, a linha C1 foi a que teve a menor variação da eficiência composta em relação aos três modelos analisados. A variação da eficiência composta ficou entre os intervalos de 0,49 a 0,51 (49% e 51%) para 100% das DMUs analisadas. Todas as análises de dados mostram que 46% das DMUs da linha C1 tiveram eficiência composta entre o intervalo de 0,49 a 0,50 (49% a 50%). Entretanto, durante a pesquisa, identificou-se também que 54% das DMUs da linha C1 tiveram eficiência composta entre o intervalo de 0,50 a 0,51 (50% a 51%).

Também é possível observar no Gráfico 17 que a linha C2 teve 11,1% de suas DMUs concentradas no intervalo de eficiência composta de 0,45 a 0,49 (45% e 49%), indicando uma maior concentração de DMUs com piores índices de eficiência composta em relação aos modelos das linhas C1 e C3. O estudo também mostrou percentuais positivos de eficiência composta no intervalo de 0,49 a 0,52 (49% e 52%) para a linha C2, indicado um intervalo de melhores práticas operacionais. Contudo, 80% das DMUs a linha C2 possuem eficiência composta variando entre 49% e 52%.

A linha C3 foi a que teve a maior variação da eficiência composta em relação às linhas C1 e C2. A variação da eficiência composta ficou entre os intervalos de 0,46 a 0,58 (46% e 58%) para 100% das DMUs analisadas. Todas as análises dos dados mostram que 67% das DMUs da linha C3 tiveram eficiência composta entre o intervalo de 0,49 a 0,52 (49% a 52%). Além disso, a linha C3 foi a única que alcançou os maiores índices de eficiência composta. Esta teve 9,8% das DMUs concentradas no intervalo de 0,54 e 0,58 (54% e 58%). Entretanto, durante a pesquisa, identificou-se também que tal linha teve 5,6 % das DMUs concentradas no intervalo de 0,45 e 0,49 (45% a 49%), indicando suas menores eficiências. Por meio do Gráfico 17, é possível observar que a linha C3 foi o modelo que apresentou o melhor resultado em relação à eficiência composta, podendo ser inferido que ela apresentou o melhor desempenho em relação às linhas C1 e C2.

Na Tabela 18 estão apresentadas as estatísticas descritivas referentes às linhas C1, C2, C3. Conforme observado, com base nos valores de amplitude e desvio padrão, pode ser inferido que a linha C3 foi a que apresentou maior variabilidade em relação à eficiência composta. No entanto, a linha C3 foi a que apresentou maior média de eficiência composta, indicando ser a mais eficiente em comparação às linhas C1 e C2.

Tabela 18 – Estatística descritiva da eficiência composta linhas C1, C2 e C3

Linha	Eficiência Composta				
	Média	Máximo	Mínimo	Amplitude	Desvio
C1	0,50	0,51	0,49	0,02	0,00232
C2	0,50	0,54	0,46	0,08	0,00145
C3	0,51	0,57	0,47	0,10	0,02003

Fonte: Elaborado pelo autor.

A linha que apresentou a menor amplitude para eficiência composta foi a C1, porém, sua eficiência máxima foi inferior a das linhas C2 e C3. A linha que apresentou menor desvio padrão em relação à eficiência composta foi a C2, indicando baixa variabilidade. No entanto, a C2 foi a que apresentou o menor índice de eficiência composta em relação a C1 e C3.

Na próxima seção, serão apresentados os resultados referentes à análise estatística. Nessa etapa, serão avaliados os testes de análise de variância ANOVA, de análise aos pressupostos e o teste de regressão linear. Contudo, o objetivo consiste em verificar as possíveis diferenças entre os períodos (anos analisados) e os impactos dos projetos de melhoria contínua e aprendizado na eficiência composta VRS das linhas C1, C2 e C3.

6 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AO LONGO DO TEMPO E O EFEITO DA MELHORIA CONTÍNUA

Neste capítulo são apresentados os resultados da avaliação da eficiência ao longo do tempo com base nos efeitos dos projetos de melhoria contínua e aprendizado. Assim, nesses termos, as técnicas necessárias para essa avaliação consistem no teste ANOVA e na regressão linear. O teste de ANOVA tem o objetivo de verificar se existe diferença na média da eficiência composta VRS entre os anos que compõem o período de análise.

O teste de regressão linear avalia as relações referentes à melhoria contínua, à eficiência composta VRS e ao volume de produção. Além disso, possibilita identificar quais variáveis referentes à melhoria contínua tiveram efeito sobre a eficiência composta VRS. Igualmente, essa etapa diz respeito à avaliação da tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção apresentada no desenho da presente pesquisa. Logo, tem o objetivo de responder a questão de pesquisa. Na próxima etapa, serão apresentados os resultados do teste de ANOVA.

Com o objetivo de avaliar o efeito das variáveis de melhoria contínua ao longo do tempo é apresentado o resultado do teste de ANOVA das linhas de produção. O teste pretende verificar se existe diferença na média da eficiência composta VRS entre os seis anos que compõem o período de análise. A Tabela 19 apresenta a média da eficiência composta VRS para cada ano e o resultado do teste de ANOVA. Essa avaliação procura responder a seguinte hipótese de pesquisa: **H4:** As médias de eficiência composta VRS de cada linha, para cada ano, são diferentes.

Tabela 19 - Análise de variância (ANOVA) linhas C1, C2 e C3

Ano	Média anual da eficiência composta VRS		
	Linha C1	Linha C2	Linha C3
2007	0,5010	0,5123	0,4964
2008	0,5011	0,5047	0,5011
2009	0,4996	0,5010	0,5075
2010	0,5006	0,5032	0,5198
2011	0,5004	0,4983	0,5287
2012	0,5011	0,5048	0,5259
Desvio padrão	0,00232	0,00145	0,02003
F (ANOVA)	0,776	1,896	8,104
Significância (<i>p-value</i>)	0,570	0,107	0,000*

Fonte: Elaborado pelo autor.

**p-value* < 0,05

A média da eficiência composta VRS da linha C1 indicou baixa variabilidade. A menor média ocorreu no ano de 2009 e as maiores nos anos de 2008 e 2012. Contudo, o teste

de ANOVA confirmou que a diferença entre as médias de cada ano não foram estatisticamente significativas ($p\text{-value}=0,570$), rejeitando H4. Os resultados indicaram que as variáveis relacionadas à melhoria contínua não tiveram efeito significativo no aumento da eficiência da linha C1 ao longo do tempo. Nesse período, a linha C1 foi a que teve a menor quantidade de melhorias do tipo *Kaizen* (9 projetos) e A3 (5 projetos) em comparação a C2 e C3. Entretanto, foi a que teve a maior média em relação ao tempo de permanência dos funcionários (6,06 anos) e o maior número de horas de treinamento (77,5 horas). Além disso, trata-se da linha mais nova em relações às outras estudadas. Assim, há indícios de que os projetos de melhoria contribuíram apenas para manter a linha operando, sem deixar de atender o mercado.

Para a linha C2, a média da eficiência composta VRS também teve baixa variabilidade. A menor média ocorreu no ano de 2011 e a maior no ano de 2007. Logo, o teste de ANOVA confirmou que a diferença entre as médias também não foi significativa ($p\text{-value}=0,107$), rejeitando H4. A linha C2 teve 42 projetos de *Kaizen* e 10 projetos de A3 durante o período (maior número de projetos de melhoria em relação às linhas C1 e C3). Além disso, essa é a linha com pior estado de conservação em relação às linhas C1 e C3.

É possível perceber, por meio dessas observações, que os projetos de melhoria realizados na linha C2 contribuíram apenas para manter a linha em operação, atendendo as demandas de mercado. Segundo os especialistas, essa é a linha com maior índice de paradas de máquina por problemas de manutenção. Também é a com maior índice de horas extras e retrabalhos.

A média da eficiência composta de cada ano da linha C3 indicou maior variabilidade em relação às linhas C1 e C2. O estudo mostrou que a menor média ocorreu no ano de 2007 e a maior ocorreu no ano de 2011. Logo, o teste de ANOVA confirmou que a diferença entre as médias da linha C3 foi estatisticamente significativa ($p\text{-value}=0,000$), aceitando H4 e indicando avanço da eficiência composta VRS ao longo do tempo. Na linha C3 foram realizados 38 projetos de *Kaizen*, 5 projetos A3 e 63,5 horas de treinamento.

Contudo, a linha C3 é a com menor tempo de permanência dos funcionários (4,97 anos) quando comparado a C1 e C2. Entretanto, os funcionários sempre permaneceram nessa mesma linha de produção. Segundo os especialistas, essa é a linha com melhor estado de conservação dentre as 3 pesquisadas. Assim, existem indícios de que os projetos de melhoria, em conjunto com as boas condições dos equipamentos, contribuíram para o aumento da eficiência ao longo do tempo.

Com base nos resultados apresentados, observou-se que somente a linha C3 melhorou a eficiência ao longo do tempo, aceitando a hipótese de pesquisa H4 e indicando melhores

práticas operacionais e influência positiva dos projetos de melhoria contínua e aprendizado. Além disso, verificou-se que as variáveis referentes à melhoria contínua não tiveram efeito na eficiência das linhas C1 e C2, rejeitando H4. Existem sinais de que as variáveis de melhoria contínua contribuíram para manter as linhas C1 e C2 em funcionamento, em condições de atender a demanda do mercado. Além disso, pode-se inferir que as variáveis relacionadas à melhoria contínua tiveram efeito na linha em melhor estado de conservação (C3).

A Tabela 20 apresenta as comparações múltiplas obtidas no teste de *Scheffe*¹⁰ por meio do teste de ANOVA. O teste de *Scheffe* foi apresentado somente para a linha C3 em função de ser a que apresentou diferença significativa entre os anos. Na Tabela 20 é possível identificar quais foram os anos que tiveram diferença na eficiência composta VRS.

Tabela 20 - Comparações múltiplas ANOVA (*Scheffe*) linha C3

(I) Fator	(J) Fator	Diferença Média (I-J)	Erro padrão	Sig.	95% Intervalo de Confiança	
					Limite inferior	Limite superior
2007	2008	-0,00474	0,00668	0,992	-0,0276	0,0182
	2009	-0,01111	0,00668	0,735	-0,0340	0,0118
	2010	-0,02338*	0,00668	0,042	-0,0463	-0,0005
	2011	-0,03228*	0,00668	0,001	-0,0552	-0,0094
	2012	-0,02947*	0,00668	0,004	-0,0524	-0,0066
2008	2007	0,00474	0,00668	0,992	-0,0182	0,0276
	2009	-0,00637	0,00668	0,968	-0,0293	0,0165
	2010	-0,01864	0,00668	0,184	-0,0415	0,0043
	2011	-0,02754*	0,00668	0,009	-0,0504	-0,0046
	2012	-0,02472*	0,00668	0,026	-0,0476	-0,0018
2009	2007	0,01111	0,00668	0,735	-0,0118	0,0340
	2008	0,00637	0,00668	0,968	-0,0165	0,0293
	2010	-0,01227	0,00668	0,643	-0,0352	0,0106
	2011	-0,02117	0,00668	0,089	-0,0441	0,0017
	2012	-0,01835	0,00668	0,198	-0,0413	0,0046
2010	2007	0,02338*	0,00668	0,042	0,0005	0,0463
	2008	0,01864	0,00668	0,184	-0,0043	0,0415
	2009	0,01227	0,00668	0,643	-0,0106	0,0352
	2011	-0,00889	0,00668	0,877	-0,0318	0,0140
	2012	-0,00608	0,00668	0,974	-0,0290	0,0168
2011	2007	0,03228*	0,00668	0,001	0,0094	0,0552
	2008	0,02754*	0,00668	0,009	0,0046	0,0504
	2009	0,02117	0,00668	0,089	-0,0017	0,0441
	2010	0,00889	0,00668	0,877	-0,0140	0,0318
	2012	0,00281	0,00668	0,999	-0,0201	0,0257
2012	2007	0,02947*	0,00668	0,004	0,0066	0,0524
	2008	0,02472*	0,00668	0,026	0,0018	0,0476
	2009	0,01835	0,00668	0,198	-0,0046	0,0413
	2010	0,00608	0,00668	0,974	-0,0168	0,0290
	2011	-0,00281	0,00668	0,999	-0,0257	0,0201

* Média com diferença significativa ao nível de 0,05.

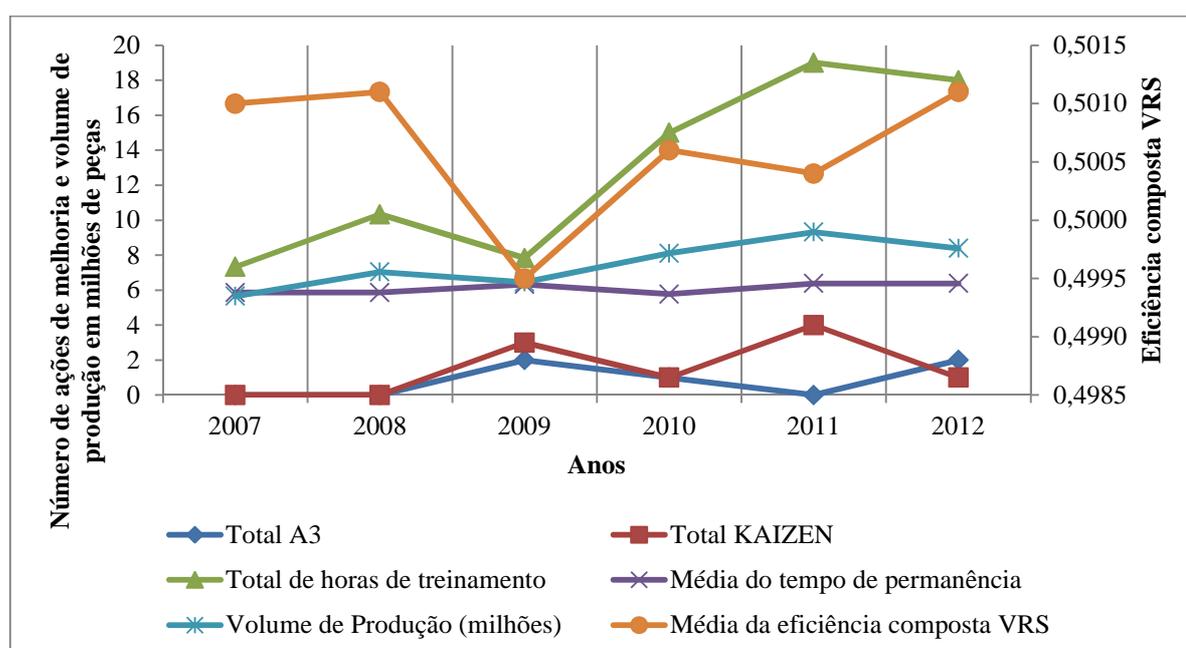
Fonte: Elaborado pelo autor.

¹⁰ Teste de *Scheffe* utilizado como variável de saída no teste de ANOVA para comparações múltiplas.

Conforme apresentado na Tabela 20, os anos de 2010, 2011 e 2012 tiveram maior média da eficiência composta VRS em relação ao ano de 2007. Do mesmo modo, os anos de 2011 e 2012 tiveram maior média em relação ao ano de 2008. Assim, pode ser observado que a linha C3 aumentou sua média de eficiência composta VRS ao longo dos anos, indicando uma diferença estatística significativa. De acordo com o Gráfico 14, apresentado na seção 5, a inclinação positiva da reta de tendência da eficiência composta VRS da linha C3 é significativa. Portanto a linha C3 foi a única que apresentou aumento de eficiência durante o período de análise.

Após a apresentação dos resultados do teste de ANOVA, serão mostrados, na próxima análise, os Gráficos referentes ao comportamento das variáveis de melhoria contínua e aprendizado, de eficiência e de volume ao longo do tempo. Um dos objetivos da ilustração gráfica consiste em entender os principais motivos que poderiam causar efeito na eficiência composta VRS para cada linha de produção. Contudo, a análise considerou as três linhas, inclusive, as que não apresentaram mudança estatisticamente significativa das médias de eficiência composta no teste de ANOVA. O Gráfico 18 apresenta o comportamento das variáveis referentes à linha C1.

Gráfico 18 - Variáveis de melhoria contínua, volume e eficiência linha C1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio dos resultados apresentados no Gráfico 18 é possível perceber que o ano de 2009 apresentou o pior resultado de eficiência. Além disso, naquele mesmo ano, houve uma redução nas horas de treinamento. Essa redução pode ser um indício desfavorável que contribuiu para o declínio da eficiência em 2009. Um aspecto interessante de se observar nesse caso diz respeito à realização dos projetos de *Kaizen* e A3 no ano de 2009. Mesmo com tais projetos a eficiência não aumentou, pelo contrário, percebeu uma redução em relação aos anos de 2007 e 2008, períodos em que não houve nenhum projeto. Com base nos resultados, pode ser inferido que os programas de *Kaizen* e A3 realizados no ano de 2009 não aumentaram a eficiência da linha C1.

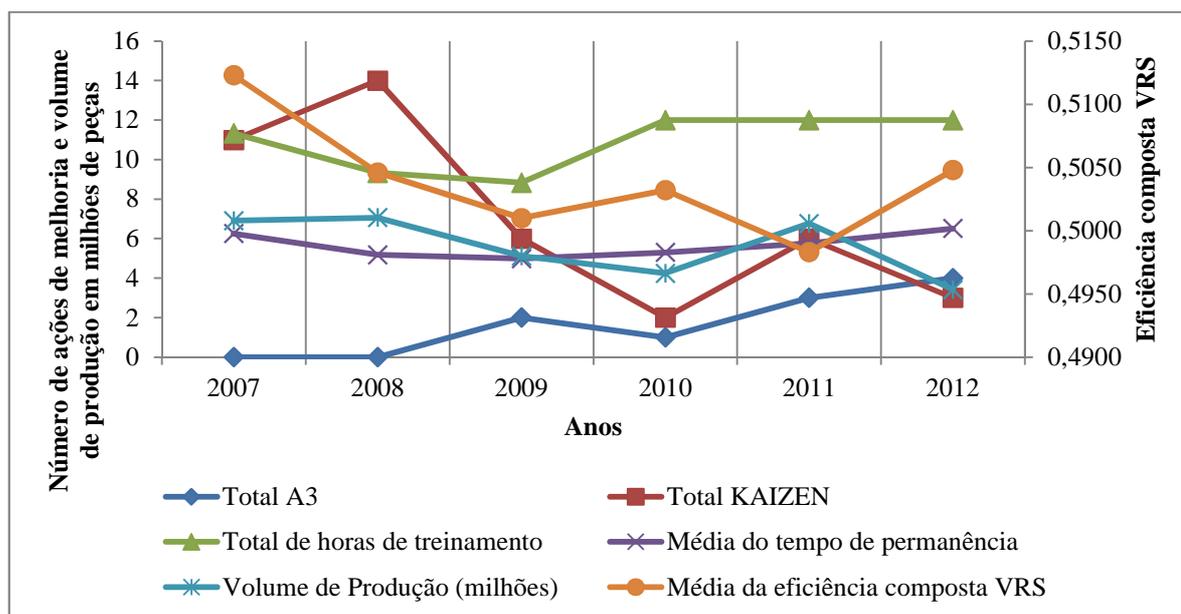
Percebeu-se também que existe um bom indicador de que os projetos de *Kaizen* e as horas de treinamento não contribuíram para aumentar a eficiência da linha C1 no ano de 2011. O Gráfico 18 apresenta discreta redução da eficiência em 2011 e um aumento nas horas de treinamento e no número de *Kaizen* no mesmo ano. Além disso, foi observado que o ano de 2011 teve o maior volume de produção, podendo esse fato ser um indício de que o aumento de volume poderia ter contribuído para a redução da eficiência no ano em questão.

Outro aspecto observado foi a redução dos projetos de *Kaizen* e das horas de treinamento em conjunto com o aumento dos projetos de A3 no ano de 2012. Esse resultado mostrou que a eficiência aumentou naquele ano, indicando que o efeito dos projetos de melhoria e aprendizado não apresentou relação com a eficiência, exceto o número de *Kaizen* que foi reduzido. Entretanto, pode ser observado que em 2012 o volume de produção teve redução enquanto que a eficiência aumentou. Esse resultado poderia ter influenciado o aumento da eficiência em 2012.

Com base nos resultados apresentados no Gráfico 18, pode ser inferido que as variáveis relacionadas à melhoria contínua e aprendizado não tiveram efeito significativo no aumento da eficiência da linha C1. Contudo, existem sinais de que as oscilações no volume de produção possam estar afetando a eficiência. O tempo de permanência dos funcionários não teve variações significativas ao longo do tempo. Com isso, pode ser concluído que esta variável não teve relação significativa com a eficiência.

A próxima análise aborda o estudo do comportamento das variáveis relacionadas à melhoria contínua e aprendizado, à eficiência e ao volume ao longo do tempo na linha C2. O Gráfico 19 apresenta os resultados dessas variáveis ao longo do tempo.

Gráfico 19 - Variáveis de melhoria contínua, volume e eficiência linha C2



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 19 mostra que o ano de 2011 foi o ano com menor média de eficiência. Contudo, pode ser observado que naquele mesmo ano, o número de *Kaizen* aumentou. Em 2012 ocorreu o contrário, o número de *Kaizen* diminuiu e a eficiência aumentou. Esse resultado indica uma relação contraditória em relação aos projetos de melhoria. Segundo especialistas do processo, existem sinais de que esse efeito possa ter ocorrido em função do estado de conservação da linha. No momento em que a linha C2 passou a comprometer a produção, foram realizadas ações de melhoria com o objetivo de atender a demanda. Entretanto, partes dessas ações tiveram efeito somente no ano seguinte, não refletindo resultado no ano em que a eficiência foi menor. Contudo, esta justificativa contradiz os resultados observados em relação ao ano de 2008.

Em 2008 também foram realizados projetos de *Kaizen*, no entanto a eficiência diminuiu em relação ao ano de 2007. Do mesmo modo, a eficiência continuou diminuindo até o ano de 2009. Esse resultado indica que os projetos de *Kaizen* não tiveram efeito no aumento da eficiência nos de 2008 e 2009. Além disso, o estudo mostrou que nos anos de 2011 e 2012 houve uma relação oposta quanto ao volume de produção e eficiência. Em 2011, o aumento do volume gerou discreta redução na eficiência. Entretanto, em 2012, a redução do volume gerou aumento da eficiência. Esse fato traz indícios de que o volume de produção pode ser mais representativo na variação da eficiência do que os projetos de *Kaizen*.

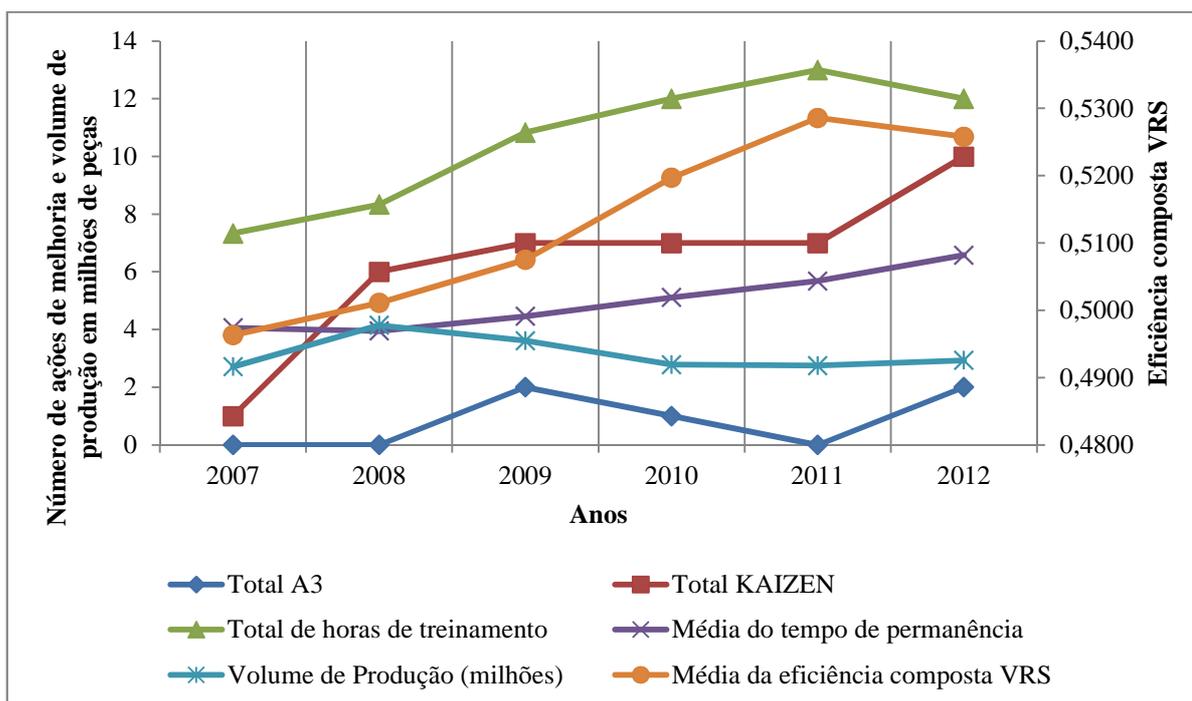
Logo, o maior número de projetos A3 realizados em 2012 pode ter contribuído para manter a eficiência nesse ano. Contudo, no ano de 2007 nenhum projeto A3 foi realizado e esse foi o ano com melhor índice de eficiência do período. Para os especialistas do processo, isso se deve ao estado de conservação das máquinas e equipamentos. No ano em questão, os equipamentos estavam em melhores condições e com uma atuação mais efetiva em relação a sua manutenção e conservação. Além disso, os especialistas do processo apontam que a experiência dos funcionários constitui outro fator importante a ser considerado no ano de 2007.

Reitera-se que, conforme os especialistas, o ano de 2007 contava com uma experiente equipe de operadores e mecânicos. Assim, nesses termos, há sinais de que a experiência e a competência dos funcionários possam ter contribuído para um melhor índice de eficiência no ano de 2007. A partir de 2007, a equipe foi dispersa em outras linhas de produção, dando lugar a outros operadores. Esse fato pode ter contribuído para a redução da eficiência nos anos seguintes. Em relação às horas de treinamento e ao tempo de permanência dos funcionários, observou-se baixa variabilidade em relação à eficiência.

Em síntese, os resultados mostram que as variáveis relacionadas à melhoria contínua não tiveram efeito no aumento da eficiência ao longo dos anos. É provável que as variáveis relacionadas ao estado de conservação das máquinas e equipamentos, ao volume de produção e à habilidade dos funcionários, foram mais representativas para manter a eficiência da linha C2 em relação às variáveis relacionadas à melhoria contínua. Na próxima análise, será discutido o comportamento das variáveis de melhoria contínua e aprendizado, de eficiência e de volume, ao longo do tempo, em relação à linha de produção C3.

A linha C3 foi a única que apresentou aumento significativo ($p\text{-value}=0,000$) da eficiência ao longo do tempo. Logo, a análise desse produto pode indicar quais variáveis relacionadas à melhoria contínua e ao aprendizado explicam o aumento de eficiência e de volume ao longo dos anos. Do mesmo modo, pode identificar o efeito do volume de produção na eficiência da linha C3. O Gráfico 20 apresenta os resultados dessas variáveis ao longo do tempo.

Gráfico 20 - Variáveis de melhoria contínua, volume e eficiência linha C3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da avaliação do Gráfico 20, é possível perceber a contínua evolução da eficiência composta VRS da linha C3 ao longo dos anos, exceto um discreto declínio no último ano de análise. Além disso, foi observada uma tendência similar em relação às horas de treinamento, número de *Kaizen*, tempo médio de permanência dos funcionários e projetos A3. Contudo, todas as variáveis relacionadas à melhoria contínua e aprendizado tiveram o coeficiente angular das retas de tendência positivo ($\alpha > 0$), indicando aumento progressivo dessas variáveis ao longo do tempo. Em relação ao volume de produção, é possível observar que existe uma relação oposta ao aumento da eficiência ao longo do tempo. Com base nessa análise, há um indício de que o aumento de volume na linha C3 contribuiu para redução da eficiência.

Nesse sentido, pode ser dito que a linha C3 apresenta indicações de que os projetos relacionados à melhoria contínua contribuíram para o aumento da eficiência ao longo do tempo e o volume de produção gerou efeito contrário, reduzindo a eficiência. Entretanto, para avaliar qual dessas variáveis pode melhor explicar o aumento da eficiência ao longo dos anos, será necessário utilizar o teste de regressão linear múltipla, abordado na próxima seção.

Após a apresentação dos resultados referentes ao comportamento das variáveis de melhoria contínua e aprendizado, à eficiência e ao volume ao longo do tempo, serão

apresentados, na próxima análise, os resultados referentes à regressão linear múltipla. A regressão linear múltipla foi utilizada para abordar as relações da tríade melhoria contínua, eficiência composta VRS e volume de produção. Com base nessa análise, será possível identificar quais projetos tiveram efeito na eficiência composta VRS das linhas de produção ao longo do tempo. Além disso, será possível avaliar a consequência do volume de produção sobre a eficiência.

Para aplicação da técnica, foi necessário realizar anteriormente a análise dos pressupostos descritos no capítulo 3 – método de trabalho. Essa análise possibilita verificar se os dados obtidos podem ser analisados por meio da regressão linear, para que a mesma tenha um resultado válido.

Inicialmente, é avaliada a primeira relação da tríade. Assim, foi realizada a análise dos pressupostos considerando os efeitos das variáveis referentes à melhoria contínua e ao aprendizado na eficiência composta VRS. O Quadro 26 apresenta os resultados encontrados.

Quadro 26 - Análise aos pressupostos da relação entre melhoria contínua e eficiência

Relações entre as variáveis	Linha	Multicolinearidade entre as variáveis independentes	Normalidade dos resíduos	Ausência de autocorrelação serial	Homocedasticidade dos resíduos
Melhoria contínua e eficiência.	C1	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,824).	Teste Durbin-Watson = 1,564.	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,337).
	C2	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,245).	Teste Durbin-Watson = 1,730	Os resíduos são homoscedásticos (sig. 0,021).
	C3	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,459).	Teste Durbin-Watson = 1,465	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,827).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados obtidos com a análise aos pressupostos podem ser avaliados por meio da regressão linear múltipla. A Tabela 21 apresenta os resultados da regressão linear múltipla com a análise da influência das variáveis independentes (relacionadas à melhoria contínua e aprendizado) sobre a variável dependente (eficiência composta VRS) para as linhas C1, C2 e C3.

Tabela 21 - Relação entre melhoria contínua e eficiência

Variáveis independentes	Eficiência composta (VRS) - Variável dependente					
	Linha C1		Linha C2		Linha C3	
	Beta padronizado	Sig.	Beta padronizado	Sig.	Beta padronizado	Sig.
Número de A3	-0,023	0,863	-0,074	0,537	-0,103	0,297
Número de <i>Kaizen</i>	-0,011	0,936	0,151	0,220	0,337	0,010*
Horas de treinamento	0,083	0,517	0,050	0,671	-0,043	0,677
Tempo de permanência dos funcionários	0,091	0,477	0,211	0,092	0,440	0,000*
ANOVA – Teste F (<i>p-value</i>)		0,857		0,172		0,000*
R		0,139		0,299		0,610
R ²		0,019		0,090		0,373
R ² ajustado		-0,039		0,035		0,335

Fonte: Elaborado pelo autor.

* = *p-value* < 0,05

As linhas C1 e C2 não apresentaram significância estatística no teste de análise de variância ANOVA, conforme resultado do teste F (*p-value*=0,857, *p-value*=0,172). Nesse caso, as variáveis independentes não tiveram significância na eficiência composta VRS para as duas linhas de produção. Os resultados complementam as avaliações realizadas anteriormente.

A linha C3 foi a única que apresentou significância estatística no teste ANOVA, conforme resultado do teste F (*p-value*=0,000). Os coeficientes de regressão padronizados indicaram que o tempo de permanência dos funcionários ($\beta=0,440$, *p-value*=0,00) e o número total de *Kaizen* ($\beta=0,337$, *p-value*=0,010) tiveram influência significativa e positiva na eficiência composta VRS da linha C3.

O R² para a linha C3 foi de 0,373, ou seja, a soma das variáveis independentes explica 37,3% da variância da variável dependente (eficiência composta VRS). Diante da situação confirmada pela análise, conclui-se que as variáveis tempo de permanência dos funcionários e número total de *Kaizen* tiveram influência significativa na eficiência composta VRS da linha C3.

Em síntese, os resultados obtidos no teste de regressão linear múltipla indicam que as variáveis referentes à melhoria contínua não tiveram influência significativa (*p-value* > 0,05) no resultado da eficiência composta VRS das linhas C1 e C2. Um aspecto interessante a se observar nesse caso diz respeito à quantidade de *Kaizen* e aos relatórios A3 realizados na linha C2 (Tabela 3). A linha C2 foi a que teve maior quantidade de projetos *Kaizen* e relatórios A3 em relação às linhas C1 e C3. Contudo, os programas não resultaram em melhora significativa da eficiência composta VRS.

Todas as análises de dados mostram não haver um resultado significativo em relação às variáveis relacionadas à melhoria contínua e eficiência composta VRS para as linhas C1 e C2. Do mesmo modo, o número de A3 e as horas de treinamento não foram significativas para nenhuma das três linhas ao longo do tempo. Esse fato apresenta indícios de que esses investimentos contribuíram apenas para manter as linhas em funcionamento, não contribuindo para aumentar a eficiência.

Diante da situação confirmada pela análise, conclui-se que a única linha que apresentou influência significativa das variáveis relacionadas à melhoria contínua na eficiência foi a C3. Logo, esta influência foi representativa somente em relação aos projetos de *Kaizen* e tempo de permanência dos funcionários. A linha C3, mesmo com o menor tempo de permanência dos funcionários (4,97 anos), teve resultado significativo em relação ao aumento da eficiência. Após a análise das variáveis relacionadas à melhoria contínua e eficiência composta VRS, serão verificadas as variáveis relacionadas à melhoria contínua e ao volume de produção para as linhas C1, C2 e C3.

Nessa etapa, é avaliada a segunda relação da tríade. Assim, busca-se averiguar se as variáveis tiveram influência positiva ou negativa em relação ao volume de produção. O Quadro 27 apresenta a análise dos pressupostos considerando os efeitos das variáveis referentes à melhoria contínua e aprendizado no volume de produção.

Quadro 27 - Análise aos pressupostos da relação entre melhoria contínua e volume de produção

Relações entre as variáveis	Linha	Multicolinearidade entre as variáveis independentes	Normalidade dos resíduos	Ausência de auto correlação serial	Homocedasticidade dos resíduos
Melhoria contínua e volume de produção.	C1	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,926).	Teste Durbin-Watson = 0,840.	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,130).
	C2	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,766).	Teste Durbin-Watson = 1,693	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,183).
	C3	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,961).	Teste Durbin-Watson = 0,971	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,790).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme resultados da análise dos pressupostos, os dados obtidos podem ser avaliados por meio da regressão linear múltipla. A Tabela 22 apresenta os resultados da regressão linear múltipla com a análise da influência das variáveis independentes (relacionadas à melhoria contínua e aprendizado) sobre a variável dependente (volume de produção) para as três linhas de produção.

Tabela 22 - Relação entre melhoria contínua e volume de produção

Variáveis independentes	Volume de produção - Variável dependente					
	Linha C1		Linha C2		Linha C3	
	Beta padronizado	Sig.	Beta padronizado	Sig.	Beta padronizado	Sig.
Número de A3	-0,031	0,732	-0,044	0,717	0,038	0,740
Número de <i>Kaizen</i>	-0,236	0,804	0,151	0,228	-0,278	0,022*
Horas de treinamento	0,242	0,048*	-0,138	0,253	0,167	0,166
Tempo de permanência dos funcionários	0,154	0,202	-0,151	0,233	-0,152	0,221
ANOVA – Teste F (<i>p-value</i>)		0,056*		0,411		0,035*
R		0,356		0,238		0,376
R ²		0,127		0,057		0,141
R ² ajustado		0,075		0,000		0,090

Fonte: Elaborado pelo autor

* = *p-value* < 0,05

As linhas C1 e C3 apresentaram significância estatística no teste de análise de variância ANOVA, conforme resultado do teste F (*p-value*=0,056, *p-value*=0,035). Para a linha C1 o resultado *p-value* ficou discretamente acima do ponto de corte. Contudo, o resultado foi considerado significativo tendo como parâmetro o ponto de corte utilizado em pesquisas sociais (*p-value* ≤ 0,10). Os coeficientes de regressão padronizados indicaram que as horas totais de treinamento tiveram influência positiva e significativa no volume de produção da linha C1 ($\beta=0,242$, *p-value*=0,048). Para a linha C3, o número total de *Kaizen* teve influência negativa e significativa em relação ao volume de produção ($\beta=-0,278$, *p-value*=0,022). A linha C2 não apresentou significância estatística no teste de análise de variância ANOVA conforme resultado do teste F (*p-value*=0,411), indicando que as variáveis relacionadas à melhoria contínua não tiveram influência no volume de produção.

A avaliação do R² da linha C1 foi de 0,127, logo, a soma das variáveis independentes explicam 12,7% da variância da variável dependente. Para a linha C3, o R² foi de 0,141 (o mais alto em relação à linha C1), indicando que a soma das variáveis independentes explicam 14,1% da variância da variável dependente.

Diante da situação confirmada pela análise, conclui-se que as linhas C1 e C3 apresentaram significância estatística no teste de ANOVA, conforme resultado do teste F (*p-value*=0,056; *p-value*=0,035). Os coeficientes de regressão padronizados indicaram que os números totais de horas de treinamento contribuíram para uma influência positiva e significativa no volume de produção da linha C1. Contudo, o número total de *Kaizen* realizados na linha C3 contribuiu para uma influência negativa e significativa em relação ao

volume de produção. Segundo os especialistas do processo, o aumento de volume na linha C3 gera um consumo desproporcional de ferramentas e insumos. Esse fato sugere que picos de produção comprometem a eficiência, sobrepondo os benefícios obtidos por meio dos projetos de *Kaizen*. Além disso, esse resultado também apresenta indícios de que o aumento de volume não possibilita tempo para a realização de projetos de *Kaizen* nessa linha.

Em síntese, os resultados obtidos no teste de regressão linear múltipla indicam que as variáveis referentes à melhoria contínua não tiveram influência significativa no volume de produção da linha C2. Novamente, pode ser observado que a quantidade de *Kaizen* e relatórios A3 realizados na linha C2 (Tabela 3) também não foram significativos em relação ao volume de produção. Assim, todas as análises de dados mostram não haver um resultado significativo em relação às variáveis relacionadas à melhoria contínua e volume de produção para a linha C2.

Para as linhas C1 e C3, a soma das variáveis relacionadas à melhoria contínua, que explicam influência no volume de produção, representa 12,7% para a linha C1 e 14,1% para a linha C3. Com base nesses valores, pode ser dito que essas variáveis possuem um baixo poder explicativo em relação às variações ocorridas no volume de produção. Entretanto, elas foram às únicas variáveis disponibilizadas pela empresa para esse tipo de análise. É importante observar que mesmo nas linhas C1 e C3 o número de relatórios A3 não teve influência significativa e que o número de *Kaizen* está relacionado de forma negativa e significativa com o volume de produção. Além disso, o número de *Kaizen* não foi significativo para as linhas C1. Esse resultado indica que a presença dos projetos de aprendizado e melhoria contínua nem sempre se relacionam positivamente com o volume de produção.

Outro aspecto interessante diz respeito ao tempo de permanência dos funcionários. Essa variável não foi significativa em nenhuma das três linhas, indicando que o quesito não influenciou o volume de produção. Após a análise das variáveis relacionadas à melhoria contínua e ao volume de produção, será apresentado o resultado da análise relacionando o volume de produção e a eficiência composta VRS referente às linhas C1, C2 e C3.

Nessa etapa é avaliada a terceira relação da tríade. Logo, foi averiguada a influência do volume de produção na eficiência composta VRS. O Quadro 28 apresenta a análise dos pressupostos considerando o efeito da variável volume produção na eficiência composta VRS.

Quadro 28 - Análise aos pressupostos da relação entre eficiência composta e volume de produção

Relações entre as variáveis	Linha	Multicolinearidade entre as variáveis independentes	Normalidade dos resíduos	Ausência de auto correlação serial	Homocedasticidade dos resíduos
Volume de produção e eficiência composta.	C1	VIF < 10.	Distribuição normal (sig. 0,793).	Teste Durbin-Watson = 1,508.	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,073).
	C2	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,145).	Teste Durbin-Watson = 1,690.	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,947).
	C3	VIF < 10	Distribuição normal (sig. 0,173).	Teste Durbin-Watson = 0,997	Os resíduos são homoscedásticos, (sig. 0,067).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados da análise dos pressupostos, os dados obtidos podem ser avaliados por meio da regressão linear. A Tabela 23 apresenta os resultados da regressão linear simples com a análise da influência da variável independente (volume de produção) sobre a variável dependente (eficiência composta VRS) para as linhas C1, C2 e C3.

Tabela 23 - Relação entre eficiência composta e volume de produção

Variável independente	Eficiência composta (VRS)- Variável dependente					
	Linha C1		Linha C2		Linha C3	
	Beta padronizado	Sig.	Beta padronizado	Sig.	Beta padronizado	Sig.
Volume de produção	-0,011	0,926	-0,029	0,808	-0,448	0,000*
ANOVA – Teste F (<i>p-value</i>)		0,926		0,808		0,000*
R		0,011		0,029		0,448
R ²		0,000		0,001		0,200
R ² ajustado		-0,014		-0,013		0,189

Fonte: Elaborado pelo autor.

* = *p-value* < 0,05

As linhas C1 e C2 não apresentaram significância estatística no teste de ANOVA, conforme resultado do teste F (*p-value*=0,926, *p-value*=0,808), indicando que o volume de produção não tem efeito na eficiência composta VRS desses produtos. No entanto, a linha C3 apresentou significância estatística (β =-0,448, *p-value*=0,000). Os coeficientes de regressão padronizados indicaram que o volume de produção teve uma relação significativa e negativa na eficiência composta VRS da linha C3. Contudo, a linha C3 apresentou um R² de 0,200, indicando que a variável independente (volume de produção) explica 20% da variância da variável dependente (eficiência composta VRS). O estudo mostrou que a linha C3 teve o menor volume de produção realizado durante os seis anos de análise (linha C3, Tabela 3). Entretanto, foi a única linha que teve influência significativa da eficiência composta VRS em

função do aumento no volume de produção. Logo, pode ser dito que o aumento de volume na linha C3 leva à redução da eficiência.

A avaliação dos rendimentos de escala referentes à linha C3 (seção 5.3) indicou que o mesmo operou em escala eficiente (com rendimentos constantes de escala) com apenas 4% das DMUs no período de análise. Para as demais DMUs da linha C3, (96%), operou em escala ineficiente (com retornos crescentes ou decrescentes de escala). Assim, os resultados mostraram que a linha C3 teve 70% das DMUs operando em rendimentos decrescentes de escala e 26% operando em rendimentos crescentes de escala. Além disso, o estudo evidenciou que a linha C3 foi a que apresentou o maior número de DMUs operando em rendimentos decrescentes de escala em relação às linhas C1 e C2.

Assim, as avaliações indicam que o aumento de volume na produção da linha C3 impacta negativamente a eficiência composta VRS. Pode ser inferido que um dos motivos está relacionado ao processo gerado pelos retornos decrescentes de escala. À medida que um ou mais insumos aumenta, os acréscimos de produção podem se tornar negativos. Assim, existe uma relação desproporcional entre entrada de insumos e saída de produtos. (FERREIRA; GOMES, 2009).

Para esse caso, Ferreira e Gomes (2009) alertam que o aumento do volume de produção sem o devido desenvolvimento tecnológico conduz à ineficiência produtiva. Existem indicadores de que a sobrecarga na linha C3 contribui para o aumento dos desperdícios e a redução da eficiência. Segundo os especialistas, a linha C3 não teve nenhum processo de atualização tecnológica durante o período de análise. Além disso, eles afirmam ter observado empiricamente a redução da eficiência em função do aumento de volume. Destacam, ainda, que os principais insumos a serem consumidos em excesso durante o aumento de volume são os *inputs* 2 e 3. Um dos motivos apontados para que isso ocorra, diz respeito à falta de tempo e à pressão para atingir metas de produção imposta aos funcionários. Com o aumento do volume, as regulagens e ajustes são negligenciados com o objetivo de não deixar as máquinas pararem. Essa conduta acaba aumentando o índice de quebras de ferramentas e os refugos do *input* 2.

Outro efeito apontado pelos especialistas do processo diz respeito à resistência e durabilidade dos equipamentos da linha C3. O aumento do volume contribui para elevar os problemas relativos a maquinário, como desgaste de eixos, barramentos e dispositivos. Com isso, os equipamentos ficam com folgas e vibrações, favorecendo as quebras de ferramentas e refugos. Dependendo do tipo de quebra, pode haver um desalinhamento do barramento das máquinas, principalmente em prensas do tipo duplo efeito. Essas condições acabam contribuindo para a incidência de novos problemas operacionais. Além do problema de

desgaste, existe o risco de não parar os equipamentos para manutenção ou lubrificação devido à falta de tempo. Essa prática também contribui para as quebras e desperdícios.

Outro ponto importante destacado pelos especialistas do processo está relacionado à moral dos funcionários. Com o aumento dos volumes, multiplicam-se os problemas operacionais com máquinas e equipamentos. Esse efeito leva a um índice elevado de horas extras e também a fadiga dos funcionários. Em alguns casos, gera pedidos de demissão, obrigando a empresa a contratar novos funcionários. Entretanto, estes demandam tempo para atingir o mesmo nível de produtividade e experiência do funcionário antigo. Tal mudança também contribui para redução da eficiência. Além disso, o processo de fadiga gerado pelos problemas operacionais e excesso de horas extras leva os funcionários à negligência quanto às regulagens e ajustes aumentando, com isso, as quebras de ferramentas e refugos.

Em síntese, os resultados obtidos no teste de regressão linear múltipla podem responder as hipóteses de pesquisa apresentadas na tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção. A Tabela 24 apresenta a síntese dos resultados.

Tabela 24 - Resumo dos resultados da tríade

Linha	Hipótese de pesquisa	Beta padronizado	Sig. <i>p-value</i>	Teste F <i>p-value</i>	R ²	
C1	H1	H1a	-0,023	0,863	0,857	0,019
		H1b	-0,011	0,936		
		H1c	0,083	0,517		
		H1d	0,091	0,477		
	H2	H2a	-0,031	0,732	0,056	0,127
		H2b	-0,236	0,804		
		H2c	0,242	0,048*		
		H2d	0,154	0,202		
	H3	---	-0,011	0,926	0,926	0,000
	C2	H1	H1a	-0,074	0,537	0,172
H1b			0,151	0,220		
H1c			0,050	0,671		
H1d			0,211	0,092		
H2		H2a	-0,044	0,717	0,411	0,057
		H2b	0,151	0,228		
		H2c	-0,138	0,253		
		H2d	-0,151	0,233		
H3		---	-0,029	0,808	0,808	0,001
C3		H1	H1a	-0,103	0,297	0,000*
	H1b		0,337	0,010*		
	H1c		-0,043	0,677		
	H1d		0,440	0,000*		
	H2	H2a	0,038	0,740	0,035*	0,141
		H2b	-0,278	0,022*		
		H2c	0,167	0,166		
		H2d	-0,152	0,221		
	H3	---	-0,448	0,000*	0,000*	0,200

Fonte: Elaborado pelo autor.

* = *p-value* < 0,05

Com base nos resultados da Tabela 24, a hipótese de pesquisa H1 foi aceita apenas para a linha C3, ($R^2=0,373$, $p\text{-value}=0,000$), indicando que as variáveis relacionadas à melhoria contínua aumentaram a eficiência ao longo do tempo. Dentre essas variáveis, o número de *Kaizen* H1b ($\beta=0,337$, $p\text{-value}=0,010$) e o tempo de permanência dos funcionários H1d ($\beta=0,440$, $p\text{-value}=0,00$) tiveram efeito no aumento da eficiência da linha C3. Para as linhas C1 e C2, a hipótese de pesquisa H1 foi rejeitada ($p\text{-value}=0,857$, $p\text{-value}=0,172$), indicando que as variáveis relacionadas à melhoria contínua não tiveram impacto nas eficiências ao longo do tempo.

Já a segunda hipótese de pesquisa H2 foi aceita para as linhas C1 ($R^2=0,127$, $p\text{-value}=0,056$) e C3 ($R^2=0,141$, $p\text{-value}=0,035$). Na linha C1, a variável que demonstrou impacto no volume de produção foi horas de treinamento H2c ($\beta=0,242$, $p\text{-value}=0,048$), indicando que o aumento dessa variável reflete em um aumento no volume de produção. Para a linha C3, a variável que contribuiu para uma relação negativa do volume de produção foi o número de *Kaizen* H2b ($\beta=-0,278$, $p\text{-value}=0,022$), indicando que o aumento de volume reflete em uma redução do número de *Kaizen*. Esse resultado apresenta indícios de que o aumento de volume não possibilita tempo suficiente para a realização de projetos de *Kaizen*.

A linha C2 rejeitou a hipótese de pesquisa H2 ($p\text{-value}=0,411$), aceitando a hipótese nula H_0 . Assim, nesses termos, os resultados indicaram que as variáveis relacionadas à melhoria contínua não tiveram nenhum impacto sobre o volume de produção da linha C2. Para as linhas C1 e C3, apenas as horas de treinamento e o número de *Kaizen* foram significativos.

A avaliação da terceira hipótese de pesquisa H3 foi aceita somente para a linha C3, ($\beta=-0,448$, $R^2=0,200$, $p\text{-value}=0,000$). Entretanto, a relação foi negativa, apresentando um Beta negativo. O resultado indica que o aumento no volume de produção gera uma redução na eficiência da linha C3. Contudo, a relação explica somente 20% da variância da variável dependente. Além disso, o estudo mostrou que as linhas C1 e C2 rejeitaram a hipótese de pesquisa H3 ($p\text{-value}=0,926$, $p\text{-value}=0,808$), aceitando a hipótese nula H_0 . Logo, as linhas C1 e C2 não tiveram impacto na eficiência em relação ao volume de produção. Após a apresentação da síntese dos resultados à luz das hipóteses de pesquisa relacionadas à tríade, no próximo capítulo será apresentada a avaliação geral e as considerações finais da presente pesquisa.

7 AVALIAÇÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contribuiu para realizar uma análise profunda das relações envolvendo melhoria contínua, eficiência, e volume de produção. O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) foi um meio efetivo para avaliação da eficiência produtiva na empresa estudada, contribuindo para a avaliação dos projetos de melhoria realizados ao longo do tempo. Por meio desta análise, é possível alertar o gestor sobre os pontos relevantes do processo produtivo que necessitam de ações para aumentar o desempenho. Assim, o trabalho apresenta um modelo robusto para suportar a tomada de decisão. Com a realização deste estudo, é possível avaliar decisões relacionadas a investimentos em projetos de melhoria, à atualização tecnológica, a treinamento, a tempo de permanência dos funcionários e ao impacto do volume no processo de manufatura.

A pesquisa também contribuiu para analisar se houve ou não melhoria na eficiência operacional da empresa ao longo do tempo, considerando os processos de melhoria contínua baseados na acumulação de conhecimento e aprendizado. Contudo, o resultado indicou que apenas uma das linhas de produção (linha C3) apresentou evolução da eficiência ao longo do tempo, indicando impacto positivo dos projetos de *Kaizen* e de tempo de permanência dos funcionários. Entretanto, essas variáveis não foram significativas para aumentar a eficiência das linhas C1 e C2. Com base nesse resultado, pode ser inferido que o estado de obsolescência e conservação das linhas teve maior impacto em relação aos projetos de melhoria contínua, sugerido que investimentos em atualização tecnológica seriam uma alternativa viável para a operação.

Carpinetti e Martins (2001) afirmam que a estratégia de melhoria contínua é importante como parte da estratégia de negócio. Esta procura manter ou ganhar vantagem competitiva. Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) também destacam as ações de melhoria contínua como meios para manutenção da performance atual. Conforme os resultados da pesquisa, as ações de melhoria contínua utilizadas pela empresa refletem basicamente na manutenção da vantagem competitiva, a fim de atender as demandas existentes.

Os resultados da pesquisa mostraram que as ações de melhoria contínua e aprendizado nem sempre refletiram aumento de eficiência ou volume de produção. Além disso, percebe-se que o processo de atualização tecnológica seria uma solução viável para aumentar a eficiência e a competitividade da empresa.

Outra importante contribuição da pesquisa foi identificar quais foram as variáveis de melhoria contínua que tiveram impacto na eficiência e no volume de produção. Nesse sentido,

o estudo indicou que os projetos de *Kaizen* e de tempo de permanência dos funcionários representam as variáveis mais relevantes para o aumento da eficiência em somente uma das linhas estudadas (linha C3). Em relação ao volume de produção, as horas de treinamento foram importantes para a linha C1. Por outro lado, o número de *Kaizen* teve uma relação negativa e significativa na linha C3. Além disso, o volume de produção não apresentou significância estatística em relação à eficiência da linha C2.

O impacto do volume de produção na eficiência foi significativo somente na linha C3, indicando que tal aumento significa redução na eficiência. Logo, foi observado que a linha C3 teve 96% das DMUs operando em escala ineficiente. Esse resultado vai de encontro às afirmações de Ferreira e Gomes (2009), que dizem que a escala ótima de produção é um fator de elevada importância para as organizações produtivas alcançarem maior competitividade. A linha C3, mesmo apresentando melhor eficiência, obteve perdas nesse quesito em função de operar em escala ineficiente. A julgar pelas evidências postas até aqui, conclui-se também, que a linha C2, considerando a elevada concentração de ações de melhoria realizadas no período, não apresentou significância estatística em nenhuma das relações propostas na tríade.

Outros elementos importantes abordados nesta pesquisa foram os alvos para os insumos ineficientes apresentados pela Análise Envoltória de Dados. Com o uso dos alvos, o gestor pode identificar os insumos cujo consumo precisa ser reduzido e, com base nessas informações, tomar ações direcionadas para a solução do problema. A pesquisa indicou que ferramentas e tempo são os insumos mais ineficientes consumidos nas linhas de produção estudadas. Além disso, o estudo indicou que os projetos realizados para redução de consumo de ferramentas e tempo não foram efetivos o suficiente. Esse tipo de análise não poderia ser realizada com o uso dos indicadores disponíveis na empresa.

Uma contribuição importante foi em relação ao *benchmark* interno. O uso da Análise Envoltória de Dados possibilitou identificar as DMUs com melhores práticas operacionais e também indicar qual o período em que essas DMUs estavam ocorrendo. Com base nessas informações, foi possível averiguar os consumos das DMUs eficientes e projetar ações para reduzir o consumo das DMUs ineficientes. Essa análise permitiu à empresa dispensar análises externas, difíceis de serem realizadas.

Nesse sentido, o trabalho também contribuiu para alertar o gestor quanto às limitações a que a empresa está sujeita em função de manter um parque fabril obsoleto e antigo. Tal condição pode constituir um limitador para o aumento da eficiência e vantagem competitiva da empresa. O estudo também mostrou que a concentração de investimentos focados na melhoria contínua e no aprendizado é necessária, mas não suficiente para aumentar a

eficiência operacional. Investimentos em atualização tecnológica devem ser incluídos na estratégia do negócio como um importante meio para aumentar a eficiência e a competitividade.

Outra importante contribuição da presente pesquisa foi a avaliação longitudinal da eficiência em relação aos programas de melhoria contínua e aprendizado. Até então, a empresa não tinha conhecimento da real importância desses programas. Contudo, o gestor pode avaliar o impacto deles em relação à eficiência e ao volume de produção, complementando os indicadores atuais utilizados na empresa.

Além disso, o estudo mostrou os efeitos do aumento de volume na eficiência. Os resultados indicaram que a linha C3 perde eficiência quando o volume aumenta. Tal resultado mostra que projetos de melhoria não são suficientes nesse caso. A atualização tecnológica seria viável para a linha absorver maiores volumes e operar em escala de produção eficiente.

Mais um ponto relevante abordado neste trabalho foi a possibilidade da avaliação da tríade melhoria contínua, eficiência e volume, de forma integrada. Essa avaliação proporciona ao gestor uma visão mais abrangente do ponto de vista operacional. Isso contribui para a assertividade das decisões relacionadas a investimentos em melhoria, compra de máquinas, horas de consultoria, entre outros. Empiricamente, percebe-se uma carência na empresa estudada em relação aos critérios de decisão referentes a tais abordagens.

Keating et al. (1999) explicam que muitas empresas descobriram que é extremamente difícil sustentar a melhoria contínua em longo prazo, mesmo quando os programas são inicialmente bem sucedidos. A falta de contabilização de *feedback* em relação aos projetos conduz a efeitos secundários inesperados e, muitas vezes, prejudiciais, que podem causar o colapso prematuro e o abandono das iniciativas. Assim, nesses termos, o estudo contribuiu com um modelo explicativo para tal condição. Logo, o modelo não explica todas as variáveis relacionadas à eficiência da empresa, contudo fornece uma importante contribuição para orientar as decisões do gestor.

Conclui-se, com base nos resultados, que a utilização de investimentos focados somente em ações relacionadas à melhoria contínua é insuficiente para aumentar a eficiência da empresa. Contudo, há sinais de que investimentos em atualização tecnológica podem contribuir significativamente para aumentar a eficiência operacional da organização. A avaliação da eficiência e dos alvos para cada um dos *inputs* contribui para a identificação dos projetos com potencial para aumentar a eficiência e, com isso, orientar a gestão sobre quais programas devem ter prioridade, contribuindo para a tomada de decisão.

Um aspecto interessante observado na avaliação das eficiências DEA diz respeito à discriminação das DMUs. Para a determinação da quantidade de *inputs* e *outputs* no modelo DEA, foi utilizado o critério proposto por Golany e Roll (1989), em que o número de DMUs deve ser, no mínimo, três vezes maior do que a soma do número de *inputs* e *outputs*. Com base na análise dos resultados obtidos, as linhas C1 e C2 apontaram problemas de discriminação. Assim, observou-se que todas as eficiências ficaram muito próximas a 1. Entretanto, utilizou-se a análise de sensibilidade *stepwise*, retirando e adicionando variáveis com o objetivo de aumentar a discriminação entre as DMUs empatadas. (ALMEIDA, 2010). A análise de sensibilidade mostrou-se eficiente quando o modelo empregou apenas dois *inputs* nas linhas C1 e C2. No entanto, não refletiu diferença significativa na eficiência das linhas ao longo do tempo. Logo, foi mantido o número de *inputs* que tem relação direta com os produtos, ação proposta pelo pesquisador e validada pelos especialistas do processo.

As informações obtidas neste estudo contribuem para o desenvolvimento de novos projetos voltados ao incremento da eficiência e do volume de produção. Vê-se que o processo de melhoria contínua e aprendizado não foi observado em todas as linhas de produção. Contudo, pode ser inferido que tais projetos não são suficientes para o aumento da eficiência.

O estudo oferece a oportunidade para novas pesquisas referentes à evolução da eficiência ao longo do tempo nas empresas de manufatura. Além disso, contribui para a avaliação do impacto dos projetos ou modificações realizadas nos processos produtivos. Pesquisas futuras podem ser desenvolvidas a partir da possibilidade de aplicar e analisar as relações da tríade melhoria contínua, eficiência e volume de produção em outras empresas, em diferentes contextos. Do mesmo modo, as relações da tríade podem ser analisadas utilizando estudos voltados ao pensamento sistêmico. Portanto, o trabalho pode contribuir para avaliar todas as unidades produtivas da organização, verificando as principais variáveis que representam impacto na eficiência produtiva. Para o estudo realizado, existe a possibilidade de utilização da regressão linear para avaliar a influência de cada um dos *inputs* usados em relação aos projetos de melhoria contínua e aprendizado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA M. R. (2007). **Infra-Estrutura Produtiva: Uma Sistematização dos Métodos, Técnicas e Modelos para Análise de Desempenho**. São Carlos. 175p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- _____. (2010). **A eficiência dos investimentos do programa de inovação tecnológica em pequena empresa (PIPE): Uma integração da análise envoltória de dados e índice Malmquist**. São Carlos. 249p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- _____. (2012). **Data Envelopment Analysis**. Uma ferramenta para análise de decisão. Mini curso/ ENEGEP 2012. Departamento de Engenharia de Produção UFRN, Bento Gonçalves-RS, 2012.
- AL-TAHAT, M.D; MUKATTASH A.M. Design and analysis of production control scheme for Kanban-based JIT environment. **Journal of the Franklin Institute** 343, pp. 521-531, 2006.
- ANDRA, A. Surjit; SEHGALB, Rakesh Z; NOORI, Samsudeen. Cellular manufacturing-A time-based analysis to the layout problem. **Production Economics**, v. 112, p. 427-438, 2008.
- ARNHEITER, E.; Y MALEYEFF, J. (2005). The integration of Lean Management and Six Sigma. **The TQM Magazine**, 17(1), 5-18.
- ATTADIA L. C. L.; MARTINS R. A.; Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**, v. 13 n. 2 2003.
- AZAMBUJA, A. M. V. **Análise de Eficiência na Gestão do Transporte Urbano por Ônibus em Municípios Brasileiros**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. (2002).
- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, p. 1078-1092, 1984.
- BARNEY, J. B.; HESTERLY, W. Administração Estratégica e Vantagem Competitiva. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2007.
- BARRETO, A. S.; MELLO, J. C. C. S. **Benchmarks de eficiência no processamento de petróleo com produtos químicos**. Relatórios de pesquisa em engenharia de produção. V. 12, n. 4, p. 41-52. (2012).
- BAYLE, P.; FARRINGTON, M.; SHARP B, HILD C.; DOUG SANDERS, Illustration Of Six Sigma Assistance On A Desing Project, **Quality Engineering**, Vol. 13 N. 03, 2001, pp.341-348.

BESSANT, J., CAFFYN, S., 1997. High-involvement innovation through continuous improvement. **International Journal of Technology Management** 14 (1), 7-28.

BESSANT, J., CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. An evolutionary model of continuous improvement behaviour. **Technovation**. v. 21, n. 1, p. 67-77, 2001.

BHUTTA, K.S.; HUQ, F. (1999), *Benchmarking – best practices: an integrated approach*, **Benchmarking: An International Journal**, Vol. 6 n. 3, p. 254.

BLOSSOM, A.; BRADLEY, J. **Mistakes commonly using performance measures to motivate employees**. 1999. Working paper, S. C. Johnson Graduate School of Management, Cornell University, Ithaca, 1999.

BOND, T. C. The role of performance measurement in continuous improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 12, p. 1318-1334, 1999.

BRUTU M. (2010) The improvement of processes' quality in organisations using the six sigma concept, *Annals of the University of Petroșani*, **Economics**, 10(1), 2010, 37-42.

CAMP, Robert C. **Benchmarking: O caminho da Qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1993. 250p.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni/Universidade Federal de Minas Gerais, 1992.

CARPINETTI, L. C. R. **Uma proposta para o processo de identificação e desdobramento de melhorias de manufatura: uma abordagem estratégica**. 2000. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CARPINETTI, L. C. R; MARTINS, R. A: Continuous improvement strategies and production competitive criteria: Some findings in Brazilian industries. **Total quality management**, vol. 12, n. 3, 2001, 281- 291.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, abr 2007.

CELIS O. L. M., GARCÍA J. M. S., Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma. **Estudios gerenciales**, Vol. 28, n. 124, pp. 23-43.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. L. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.

CHOI, T. Conceptualizing Continuous Improvement: Implications for Organizational Change. *Omega*, **Int. J. Mgmt Sci**. Vol. 23, N. 6, pp. 607-624, 1995.

COELLI, T. J. et al. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2005. 349p.

COELLI, Tim; RAO, D. S. Prasada; BATTESE, George E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. London: Kluwer Academic Publishers, 1997, 275p.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. **Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations**. [S.l.]: Springer US, 2004. 592p.

CORONADO, Ricardo Banuelas; ANTONY, Jiju. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations, **The TQM Magazine**, Vol. 14 Iss: 2, pp.92-99.

CORRAR et al. **Análise multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. São Paulo: Atlas, 2007.

COSTA M. A. F.; COSTA M. F. B.; **Metodologia da pesquisa: conceitos e técnicas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001, 135p.

DANCEY, P. C.; REIDY J. **Estatística sem Matemática para Psicologia**. Tradução de Lorí Viali. Porto Alegre: Artmed, 2006, 608 p.

DEBREU, G. The Coefficient of Resource Utilization. **Econometrica**. v. 19, p. 273-292, (1951).

DENNIS P.; **Fazendo acontecer a coisa certa: Um guia de planejamento e execução para líderes**. São Paulo. Lean Institute Brasil, 2007.

DRESCH, A. (2013). **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. São Leopoldo 184p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos.

DYSON, R.G; ALLEN, R.; CAMANHO A. S.; PODINOVSKI, V. V. (2001). Pitfalls and protocols in DEA, **European Journal of Operational Research**, v. 132, p. 245-259.

EASTON, G.; JARRELL, S. (1998) The effects of total quality management on corporate performance: an empirical investigation. **Journal of Business** 71, 253-307.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EMROUZNEJAD, A.; PARKER, B.; TAVARES, G. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 42, p. 151-157, 2008.

FARE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C. A. K. **Production Frontiers**. New York: Cambridge University, 1994. 296p.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. Series A, General 120 (3), p. 253-281, 1957.

FERREIRA R. R. **O Kaizen como sistema de melhoria contínua dos processos**: um estudo de caso na Mercedes Benz do Brasil Ltda. Planta Juiz de Fora. Viçosa. 69p. Monografia – Universidade Federal de Viçosa. 2009.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução a Análise Envoltória de Dados**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 390 p.

FILHO M., G., UZSOY R.: The effect of shop floor continuous improvement programs on the lot size–cycle time relationship in a multi-product single-machine environment. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.** (2011) 52:669–681.

FORD, H.; CROWTHER S. **Hoje e Amanhã**. Tradução de Monteiro Lobato. São Paulo: Editora Nacional, 1927. 339p.

FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M. Composition laws for learning curves of industrial manufacturing process. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 7, p. 1431-1447, 2003. ISSN 0020-7543.

GELDERS L.; MANNAERTS P.; MAES J.; Manufacturing strategy, performance and improvement programmes. **INT. J. PROD. RES.**, 1994, V. 32, n. 4, 797-805.

GHALAYINI, A. M.; NOBLE, J. S. The changing basis of performance measurement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 8, p. 63-80, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 175p.

GILSA, C. V. (2012). **Avaliação Longitudinal da Eficiência e Fator Total de Produtividade em uma Empresa Petroquímica a Partir da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do Índice de Malmquist**. São Leopoldo 160p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An Application Procedure for DEA. (1989). **OMEGA International journal of Management Science**, Great Britain, Vol. 17, N. 3, p. 237-250.

GOLDRATT, E. A. **Corrida pela Vantagem Competitiva**. São Paulo: Goldratt e Fox, 1989. 177p.

_____. **A Síndrome do palheiro**: Garimpando informações num oceano de dados. São Paulo: C. Fulmann, 1991.

GOLDRATT, E. A. **Meta**: um processo de melhoria contínua. São Paulo: Nobel, 2002, 365p.

GRANDZOL, J. R.; M. GERSHON. Which TQM Practices Really Matter: An Empirical Investigation. **Quality Management Journal**, 1997; 4(4): 43-59.

GREMAUD P. A. et al. **Manual de Economia**. Equipe de professores da USP. 3º edição, Editora Saraiva, 1998.

GUJARATI, DAMODAR N. **Econometria básica**. Porto Alegre: Artmed, 2011, 924p.

HAIR JR., J. F. et al. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**. Tradução de Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2005. 471 p. ISBN ISBN: 978-85-363-0449-6.

HAIR; BLACK; BABIN; ANDERSON; TATHAM. **Análise Multivariada de dados**. 6ª Ed. Porto Alegre: BOOKMAM, 688p, 2009.

HALL, D.J.; FORD, T. Q., A quality approach to factory design?. **Industrial Management and Data Systems**, v. 98. n. 6, 1998.

HASAN, Mohd Asif; SARKIS, Joseph; SHANKAR, Ravi, Agility and production flow layouts: An analytical decision analysis, **Computers & Industrial Engineering**, Volume 62, Issue 4, May, p. 898-907, 2012.

HAYNES, K. E.; DINC, M. (2005). **Data Envelopment Analysis (DEA)**. Encyclopedia of Social Measurement, Volume 1.

HEXSEL, A. E.; HENKIN, H. Os conceitos de eficácia operacional e estratégia propostos por Porter: fundamentos econômicos e análise crítica. **R. Adm**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 254-259, jul./ago./set. 2003.

IMAI MASAOKI. **Kaizen a estratégia para o sucesso competitivo**. São Paulo: IMAM, 1992. 235p.

ISHIKAWA. **Controle da qualidade total**: a maneira japonesa. RJ, Campus, 1993.

JABER, M. Y.; BONNEY, M. The Economic Manufacture/Order Quantity (EMQ/EOQ) and the Learning Curve: Past, Present, and Future. **International Journal of Production Economics**, v. 59, p. 93-102, 1999.

JHA S.; NOORI H.; MICHELA J. L. The dynamics of continuous improvement, **International Journal of Quality Science**, Vol. 1, n. 1, 1996, pp. 19-47.

JORGENSEN Frances; LAUGEN, Børge Timenes; BOER, Harry. Human Resource Management for Continuous Improvement. **Journal compilation**, 2007 Blackwell Publishing. Volume 16, Number 4 - 2007.

KEATING E., OLIVA R., REPENNING N., ROCKART S., STERMAN J., Overcoming the Improvement Paradox. **European Management Journal** Vol. 17, n. 2, pp. 120-134, 1999.

KOOPMANS, T. C. **Activity analysis of production and allocation**. New York: John Wiley & Sons, 1951.

KUMAR C. S.; PANNEERSELVAM R. Literature review of JIT-KANBAN system. **International Journal Adv. Manuf. Technol.** Vol. 32, pp. 393-408, 2007.

LARANJEIRA G. J. F. (2008). **Proposta de um modelo de avaliação de eficiência relativa para aferir o desempenho empresarial**. ISCTE 248p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Universitário de Lisboa.

LEVY, F. Adaptation in the Production Process. **Management Science**, v. 11, n. 6, p. 136-154, 1965. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.11.6.B136>.

LI, G.; RAJAGOPALAN, S. The impact of quality on learning. **Journal of Operations Management**, v. 15, n. 3, p. 181-191, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(97\)00003-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(97)00003-X).

LIN, Lie Chien; SHARP, Gunter. Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. **European Journal of Operational Research**, v.116, p. 100-117, 1999.

LINS, M. P. E.; ANGULO-MEZA, L. **A Análise Envoltória de Dados e Perspectiva de Integração no Ambiente do Apoio a Decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. 232p.

LORENZETT, J.R.; LOPES, A. L. M.; LIMA, M.V.A. **Aplicação do método de pesquisa operacional DEA na avaliação de desempenho de unidades produtivas para área de educação profissional**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

MACEDO; SILVA, F. F.; SANTOS, R. M. Análise do Mercado de Seguros no Brasil: uma visão do desempenho organizacional das seguradoras no ano de 2003. **Revista de Contabilidade & Finanças**, v. Edição Especial - Atuária, 2006.

MARASH, S. A. **Six Sigma: Business Results Through Innovation**, ASQ's 54th Annual Quality Congress Proceeding, 2000, pp.627-630.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1991.

MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. A.; REBELATTO, D. A. N. (2006). Princípios Básicos Para Uma Proposta de Ensino Sobre Análise por Envoltória de dados. In. XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE), Passo Fundo.

MARQUES, R. C.; SILVA, D. Inferência Estatística dos Estimadores de Eficiência obtidos com a Técnica Fronteira Não Paramétrica de DEA. Uma Metodologia de Bootstrap. [S.l.]: **Investigação Operacional**, v. 26, 2006. 89-110 p.

MARTINS, R. A. **Sistemas de medição de desempenho**: um modelo para estruturação do uso. 1998. Doutorado (Tese), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MEGGINSON, L. C. **Administração**: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Harbra, 1986. 614 p.

MONDEN, Yasuhiro. **Produção sem Estoques**: uma Abordagem Prática ao Sistema de Produção da Toyota, 1984. IMAM.

MOURA, R.A. Kanban. **A simplicidade do Controle da Produção**. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, 1989.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design – a literature review and research Agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 4, p. 80-116, 1995.

NUNAMAKER, T. R. Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: A critical evaluation. **Managerial and Decision Economics**, v. 6, n. 1, p. 50-58, 1985.

NURYARTONO, N.; ANGGRAENIE T.; FIRDAUS R. S. Efficiency Level of BPR: Study of Stochastic Frontier Analysis with an Approach of Time Varying Decay. **International Research Journal of Finance and Economics**, 2012.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, H.C.; GOMES, A.P. Eficiência na agroindústria avícola mineira. In: CONGRESSO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES. Ouro Preto, 28 a 31 de agosto, 2003.

OLIVEIRA I. R. (2008). **Utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) no Diagnóstico da Eficiência de Cultivo do Camarão Marinho**. Recife. 49p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

PAIVA JR, H. (2000). **Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/AHP**. Campinas. 178p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas.

PANDE, P.S., NEUMAN, R.; CAVANAGH, R.R. **The Six Sigma Way**. How GE, Motorola and Other Top Companies are Honing Their Performance, McGraw-Hill, New York, NY, 2000.

PIDD M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Bookman, 1998. 314p.

PIETRO, A.M; ZOFIO, J.L. (2001) Evaluating Effectiveness in Public Provision of Infrastructure and Equipment: The case of Spanish Municipalities. **Journal of productivity Analysis**. v.15, n. 1, p. 41-58.

POPPER, KARL. **A Lógica da Pesquisa Científica**. São Paulo: Cultrix, 1975. 567p.

PORTER, Michael. **Competição: estratégias competitivas essenciais**. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 515p.

PRUETT, M.; THOMAS, H. Experience-based learning in innovation and production. **R&D Management**, v. 38, n. 2, p. 141-153, 2008.

RAKESH et al. The propagation of benchmarking concepts in Indian manufacturing industry. **Benchmarking: An International Journal**, v. 15 Iss: 1, p. 101-117, 2008.

READMAN, J. (2007). What challenges lie ahead for improvement programmes in the UK? Lessons from CINet continuous improvement survey. **International Journal of Technology Management**, 37(3), 290-305.

RHO BOO-HO; YU, YUNG-MOK (1998) A comparative study on the structural relationships of manufacturing practices, lead time and productivity in Japan and Korea. **Journal of Operations Management**, 16, 1998. 257-270.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social Métodos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999. 334p.

RUNGTUSANATHAM, M., C. FORZA, R. FILIPPINI, J. C. ANDERSON. A Replication Study of a Theory of Quality Management underlying the Deming Method: Insights from an Italian Context. **Journal of Operations Management**, 1998; 17(1): 77-95.

SANDRONI, P. **Dicionário de Administração e Finanças**. São Paulo: Best Seller, 1996. 577p.

_____. **Novíssimo Dicionário de Economia**. São Paulo: Best Seller, 1999. 650p.

SANTO, A. E. **Delineamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Edições Loyola, 1992. 174p.

SASHKIN, M. KISER, K. J. (1994). **Gestão da qualidade total na prática**. Rio de Janeiro: Campus.

SAUNDERS M., LEWIS P., THORNHILL A.: **Research Methods for Business Students**. Fifth edition, Pearson Education (2009).

SAVOLAINEN, T. Cycles of continuous improvement: realizing competitive advantages through quality. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 19, n. 11, p. 1203-1222, 1999.

SCHONBERGER, RICHARD J. **Fabricação Classe Universal**. São Paulo: Futura, 1997. 285p.

SCHROEDER, D.M.; ROBINSON, A.G. America's most successful export to Japan: continuous improvement programs, **Sloan Management Review**, Vol. 32 No. 3, 1991, pp. 67-81.

SCOTT, B., S., WILCOCK, A., E., KANETKAR, V. A survey of structured continuous improvement programs in the Canadian food sector. *Food Control* 20 (2009) 209-217.

SEIFORD, Lawrence M., THRALL, Robert M. Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. **Journal of Econometrics**, North-Holand, nº 46, p. 7-38, 1990.

SEIFORD, Lawrence M. Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978-1995) **The Journal of Productivity Analysis**, 7, 99-137 (1996).

SHIBA, S; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: Quatro revoluções na gestão da qualidade**. Artes Médicas: Porto Alegre, 1997.

SHIMOKAWA, K., FUJIMOTO T. **O Nascimento do Lean**. Conversas com Taiichi Ohno, Eiji Toyoda. São Paulo: Lean institute Brasil, Bookman, 2011.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre, Bookman, 1996.

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

SILVA C. E. S; ARAÚJO F.; Relação entre melhoria contínua e o sistema de avaliação de desempenho – estudo de caso em malharias retilíneas. XII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, GEPROS – Ano 1, nº 2, 2006, p. 149-162.

SINGH J.; SINGH H.; Continuous improvement approach: state-of-art review and future implications. **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 3 No. 2, 2012 pp. 88-111.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES DE MELLO, B. J. C. C. et al. Curso de Análise de Envoltória de Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa. Gramado: [s.n.]. 2005.

SOBEK II, D. K.; SMALLEY A. **Entendendo o pensamento A3**: um componente crítico do PDCA da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SOUTHARD, P. B.; PARENTE, D. H. A model for internal benchmarking: when and how? Emerald: **Benchmarking: An International Journal**, v. 42, 2007.

SOUZA N. J. et al. **Introdução à Economia**. São Paulo: Atlas, 1996.

SOUZA, M. A. F. D.; MACEDO, M. A. D. S.; FERREIRA, M. S. **Desempenho Organizacional no Setor Supermercado Brasileiro**: Uma Análise Apoiada em DEA. REGE, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 151-167, Abr./Jun. 2010.

SPENDOLINI, MICHAEL J. **The benchmarking book**. São Paulo: Makron Books, 1992. 207p.

STROIEKE, Eduardo; FOGLIATTO, Flavio Sanson; ANZANELLO, Michel Jose. Estado da arte das aplicações de curvas de aprendizado. **Revista: Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 681-694, 2013.

TANCO M., MATEO R., SANTOS J., JACA C., VILES E.: On the relationship between continuous improvement programs and their effect on quality defects: An automotive case study. **Total Quality Management**, Vol. 23, No. 3, March 2012, 277-290.

VEIGA, F. L. et al. O REFERENDO DAS ARMAS NO BRASIL Estratégias de campanha e comportamento do eleitor. **Revista brasileira de ciências sociais** - vol. 23 nº. 66. 2008.

VERGARA, S. C. **Projetos de Pesquisa em Administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

VIEIRA A. C. **Manual de Layout**. Manuais CNI. Rio de Janeiro: CNI, 1983.

WATSON K. J. ; PATTI A. A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. **International Journal of Production Research**, Vol. 46, No. 7, p.p. 1869-1885, 2008.

WOMACK, J. **Fazendo fluir os materiais**. Tradução Alexandre Cardoso. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

WRIGHT, T. P. Factors affecting the cost of airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, v. 3, n. 4, p. 122-128, 1936.

WU, C.W., CHEN, C.L., 2006. An integrated structural model toward successful continuous improvement activity. **Technovation** 26 (5/6), 697-707.

WU, Xiaodan; CHU, Chao-Hsien; WANG, Yunfeng; YUE, Dianmin Yue. Genetic algorithms for integrating cell formation with machine layout and scheduling, **Computers & Industrial Engineering**, v. 53, n. 2, September, p. 277-289, 2007.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, v. 37, p. 158-167. 1994.

YELLE, L. E. The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey. **Decision Science**, v. 10, n. 2, p. 302-328, 1979. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5915.1979.tb00026.x>

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.

ZANGWILL, Willard I.; KANTOR, Paul B. Toward a Theory of Continuous Improvement and the Learning Curve. **Management Science**, V. 44, n. 7, July 1998.

ANEXO A - BENCHMARK LINHA C1

Benchmark – DMUs de referência e escores (λ) linha C1

(Continua)

DMU	C1L 01	C1L 04	C1L 05	C1L 06	C1L 09	C1L 13	C1L 14	C1L 20	C1L 23	C1L 24	C1L 25	C1L 36	C1L 37	C1L 38	C1L 39	C1L 44	C1L 45
	λ_1	λ_4	λ_5	λ_6	λ_9	λ_{13}	λ_{14}	λ_{20}	λ_{23}	λ_{24}	λ_{25}	λ_{36}	λ_{37}	λ_{38}	λ_{39}	λ_{44}	λ_{45}
C1L01	1,00																
C1L02	0,73						0,03						0,16	0,08			
C1L03	0,47		0,40							0,07				0,06			
C1L04		1,00															
C1L05			1,00														
C1L06				1,00													
C1L07	0,06									0,53							0,04
C1L08	0,00									0,16							0,06
C1L09					1,00												
C1L10	0,16									0,05							0,44
C1L11										0,36	0,22						
C1L12										0,13	0,38						
C1L13						1,00											
C1L14							1,00										
C1L15							0,30										0,41
C1L16							0,20			0,16							
C1L17							0,39			0,15							
C1L18										0,13							0,71
C1L19								0,22									
C1L20								1,00									
C1L21										0,54							
C1L22										0,62							
C1L23									1,00								
C1L24										1,00							
C1L25											1,00						
C1L26	0,50									0,17	0,02						0,31
C1L27	0,44		0,05							0,51							
C1L28	0,05									0,85	0,10						
C1L29	0,20									0,31				0,49			
C1L30										0,52				0,44			
C1L31										0,72				0,07			
C1L32										0,30				0,25			
C1L33														0,47			
C1L34	0,30									0,01				0,33			
C1L35	0,04									0,85				0,11			
C1L36												1,00					
C1L37													1,00				
C1L38														1,00			
C1L39															1,00		
C1L40										0,87				0,13			
C1L41										0,61				0,39			
C1L42										0,89				0,11			
C1L43														0,31			
C1L44																1,00	
C1L45																	1,00
C1L48	0,09									0,25							
C1L49			0,19								0,25						
C1L58							0,24										
C1L59										0,20	0,10						
C1L67	0,03						0,19			0,16							
C1L70								0,25									
Total de Referências	14	1	5	1	1	1	8	3	1	29	7	1	2	13	1	1	7

(Conclusão)

DMU	CIL 46	CIL 47	CIL 50	CIL 51	CIL 52	CIL 53	CIL 55	CIL 56	CIL 57	CIL 60	CIL 61	CIL 62	CIL 63	CIL 65	CIL 66	CIL 68	CIL 69	CIL 72
	λ46	λ47	λ50	λ51	λ52	λ53	λ55	λ56	λ57	λ60	λ61	λ62	λ63	λ65	λ66	λ68	λ69	λ72
CIL07			0,37															
CIL08			0,77															
CIL10			0,35															
CIL11															0,43			
CIL12															0,49			
CIL15	0,03														0,26			
CIL16	0,19							0,09							0,36			
CIL17	0,36							0,06	0,04									
CIL18	0,06														0,10			
CIL19	0,57			0,21														
CIL21								0,28	0,17									
CIL22			0,11					0,13							0,14			
CIL30				0,04														
CIL31				0,20														
CIL32				0,45														
CIL33			0,01						0,52									
CIL34			0,37															
CIL43				0,03				0,06							0,60			
CIL46	1,00																	
CIL47		1,00																
CIL48			0,13												0,52			
CIL49										0,40					0,16			
CIL50			1,00															
CIL51				1,00														
CIL52					1,00													
CIL53						1,00												
CIL54								0,89	0,04									
CIL55							1,00											
CIL56								1,00										
CIL57									1,00									
CIL58			0,11	0,07											0,58			
CIL59															0,70			
CIL60										1,00								
CIL61											1,00							
CIL62												1,00						
CIL63													1,00					
CIL64	0,08										0,07	0,47			0,38			
CIL65														1,00				
CIL66															1,00			
CIL67			0,12												0,50			
CIL68																1,00		
CIL69																	1,00	
CIL70				0,43									0,33					
CIL71		0,37	0,12					0,18							0,33			
CIL72																		1,00
Total de Referências	7	2	11	8	1	1	1	8	2	4	3	2	2	1	24	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXO B - BENCHMARK LINHA C2

Benchmark – DMUs de referência e escores (λ) linha C2

(Continua)

DMU	C2L01	C2L02	C2L03	C2L04	C2L05	C2L06	C2L07	C2L08	C2L09	C2L10	C2L11	C2L12
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	λ_8	λ_9	λ_{10}	λ_{11}	λ_{12}
C2L01	1,00											
C2L02		1,00										
C2L03			1,00									
C2L04				1,00								
C2L05					1,00							
C2L06						1,00						
C2L07							1,00					
C2L08								1,00				
C2L09									1,00			
C2L10										1,00		
C2L11											1,00	
C2L12												1,00
C2L13	0,13											
C2L14	0,00	0,03										
C2L15	0,52											
C2L16	0,29											
C2L17	0,10											
C2L18	0,56											
C2L19		0,23										
C2L20			0,33						0,10			
C2L21			0,20						0,09			
C2L23	0,97											
C2L25			0,10						0,09			
C2L27				0,48								
C2L28	0,40											
C2L29				0,90								
C2L30	0,74											
C2L31	0,28											
C2L32	0,16											
C2L34	0,76	0,05				0,19						
C2L35		0,12				0,60						
C2L37	0,73											
C2L38	0,02				0,44							
C2L40									0,02			
C2L41	0,13		0,24			0,15						
C2L42	0,77					0,07						
C2L43	0,05		0,47									
C2L44	0,68											
C2L45	0,46											
C2L46	0,60		0,40									
C2L47	0,18		0,32									
C2L48	0,14		0,18			0,28						
C2L49			0,54									
C2L51	0,43											
C2L52	0,74											
C2L53				0,70		0,14						
C2L54	0,34	0,27				0,38						
C2L55		0,07										
C2L56	0,45					0,13						
C2L60				0,01		0,48						
C2L63	0,25	0,05				0,42						
C2L64			0,21			0,28						
C2L65			0,30						0,04			
C2L66	0,81											
C2L67						0,42				0,06		
C2L68	0,71		0,26									
C2L69	0,54											
C2L70	0,93					0,02						
C2L71	0,09											
Total de Referências	33	8	13	5	2	15	1	1	4	4	1	1

(Conclusão)

DMU	C2L22	C2L24	C2L26	C2L33	C2L36	C2L39	C2L50	C2L57	C2L59	C2L61	C2L62	C2L72
	λ_{22}	λ_{24}	λ_{26}	λ_{33}	λ_{36}	λ_{39}	λ_{50}	λ_{57}	λ_{59}	λ_{61}	λ_{62}	λ_{72}
C2L13	0,87											
C2L14	0,62		0,35									
C2L15	0,48											
C2L16	0,71											
C2L17	0,22		0,68									
C2L18	0,44											
C2L19	0,30		0,48									
C2L20	0,57											
C2L21	0,47									0,23		
C2L22	1,00											
C2L23	0,03											
C2L24		1,00										
C2L25	0,31									0,50		
C2L26			1,00									
C2L27		0,10	0,35							0,07		
C2L28	0,02		0,01							0,57		
C2L29	0,07		0,03									
C2L30			0,08							0,19		
C2L31	0,62		0,07					0,02				
C2L32	0,02		0,35							0,35		0,13
C2L33				1,00								
C2L35	0,18							0,10				
C2L36					1,00							
C2L37			0,13					0,04		0,02		0,07
C2L38			0,19							0,35		
C2L39						1,00						
C2L40	0,01					0,22		0,31				0,44
C2L41												0,49
C2L42	0,06							0,11				
C2L43										0,06		0,41
C2L44			0,12							0,21		
C2L45			0,17							0,37		
C2L47										0,34		0,16
C2L48												0,40
C2L49										0,46		
C2L50							1,00					
C2L51			0,46							0,10		
C2L52	0,17		0,04					0,04				
C2L53			0,16							0,01		
C2L55	0,21		0,33					0,38				
C2L56	0,30							0,11				
C2L57								1,00				
C2L58		0,20	0,02			0,09		0,69				
C2L59									1,00			
C2L60			0,35							0,16		
C2L61										1,00		
C2L62											1,00	
C2L63	0,04		0,24									
C2L64										0,51		
C2L65										0,43	0,22	
C2L66	0,13		0,06									
C2L67	0,04							0,17				0,31
C2L68										0,02		
C2L69			0,08					0,05				0,33
C2L70								0,04				
C2L71			0,07							0,12		0,72
C2L72												1,00
Total de Referências	26	3	24	1	1	3	1	13	1	21	2	12

Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXO C - BENCHMARK LINHA C3

Benchmark – DMUs de referência e escores (λ) linha C3

(Continua)

DMU	C3L 01	C3L 02	C3L 21	C3L 34	C3L 37	C3L 41	C3L 53	C3L 54	C3L 58	C3L 59	C3L 60	C3L 61	C3L 63	C3L 71	C3L 72
	λ_1	λ_2	λ_{21}	λ_{34}	λ_{37}	λ_{41}	λ_{53}	λ_{54}	λ_{58}	λ_{59}	λ_{60}	λ_{61}	λ_{63}	λ_{71}	λ_{72}
C3L01	1,00														
C3L02		1,00													
C3L03									0,29		0,71				
C3L04					0,16							0,84			
C3L05							0,22		0,78						
C3L06							0,61		0,39						
C3L07							0,63		0,37						
C3L08							0,55	0,45							
C3L09							0,54	0,46							
C3L10							0,89		0,11						
C3L11							0,78		0,22						
C3L12							0,66	0,34							
C3L13									0,94		0,06				
C3L14							0,78		0,22						
C3L15							0,94	0,06							
C3L16							0,71	0,29							
C3L17							0,75	0,25							
C3L18							0,88	0,12							
C3L19			0,36					0,64							
C3L20							0,32	0,68							
C3L21			1,00												
C3L22			0,30					0,70							
C3L23							0,18		0,82						
C3L24							0,18		0,82						
C3L25							0,21		0,29			0,50			
C3L26							0,18		0,60			0,22			
C3L27							0,48		0,52						
C3L28							0,48		0,52						
C3L29							0,41		0,37			0,22			
C3L30							0,46		0,54						
C3L31							0,72		0,28						
C3L32			0,04					0,96							
C3L33			0,41					0,59							
C3L34				1,00											
C3L35							0,93	0,07							
C3L36							0,14		0,86						
C3L37					1,00										
C3L38							0,18		0,13			0,69			
C3L39							0,98		0,02						
C3L40						0,33	0,30	0,37							
C3L41						1,00									
C3L42									0,34	0,47	0,20				
C3L43							0,83		0,17						
C3L44							0,53		0,47						
C3L45							0,64		0,36						
C3L46							0,29		0,71						
C3L47							0,75	0,25							
C3L48							0,80		0,20						
C3L49				0,04	0,61							0,35			
C3L50							0,12		0,22			0,66			
C3L51							0,73		0,27						
C3L52							0,29		0,71						
C3L53							1,00								
C3L54								1,00							
C3L55							0,96		0,04						
C3L56							0,49		0,51						
C3L57							0,66		0,34						
C3L58									1,00						
C3L59										1,00					
C3L60											1,00				
C3L61												1,00			
C3L62							0,28		0,72						
C3L63													1,00		

(Conclusão)

DMU	C3L 01	C3L 02	C3L 21	C3L 34	C3L 37	C3L 41	C3L 53	C3L 54	C3L 58	C3L 59	C3L 60	C3L 61	C3L 63	C3L 71	C3L 72
	λ1	λ2	λ21	λ34	λ37	λ41	λ53	λ54	λ58	λ59	λ60	λ61	λ63	λ71	λ72
C3L64							0,46		0,38	0,16					
C3L65							0,75		0,25						
C3L66							0,80		0,20						
C3L67							0,23	0,77							
C3L68							0,96		0,04						
C3L69							0,78		0,04	0,18					
C3L70							1,00								
C3L71														1,00	
C3L72															1,00
Total de Referências	1	1	5	1	3	3	49	17	40	4	4	8	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor