

**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**

TIAGO DOS SANTOS ANTUNES

**AVALIAÇÃO EXPLORATÓRIA DA EFICIÊNCIA ECONÔMICA EM SISTEMAS DE
MANUFATURA**

São Leopoldo

2020

TIAGO DOS SANTOS ANTUNES

AVALIAÇÃO EXPLORATÓRIA DA EFICIÊNCIA ECONÔMICA EM SISTEMAS DE
MANUFATURA

Dissertação apresentada como requisito para
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.

São Leopoldo

2020

A636a Antunes, Tiago dos Santos.
Avaliação exploratória da eficiência econômica em sistemas de manufatura / por Tiago dos Santos Antunes. – 2020.
219 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2020.
“Orientador: Dr. Daniel Pacheco Lacerda”.

1. Eficiência econômica. 2. Eficiência técnica.
3. Eficiência alocativa. 4. Análise envoltória de dados.
5. Sistema de manufatura. I. Título.

CDU: 658.5:33

*Dedico esta dissertação à minha esposa Édina
e a minha filha Lívia por me apoiarem incondicionalmente.*

AGRADECIMENTOS

Sou grato ao meu orientador, Prof. Daniel Pacheco Lacerda, por ter acreditado em mim e por ter me ajudado e apoiado constantemente. Agradeço também ao meu amigo e parceiro de pesquisa, Fábio Sartori Piran, que além disso, foi professor e orientador de graduação e me apresentou os primeiros estudos sobre produtividade e eficiência.

Sou grato toda a equipe de professores do PPGEPS Unisinos, que contribuiu com o aprendizado nesta fase da minha vida. Um agradecimento muito especial à equipe do GMAP pelo profissionalismo do grupo de pesquisa e contribuição.

Agradeço à banca examinadora do projeto de qualificação, Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda, Prof.^a Dr.^a Maria Isabel Wolf Motta Morandi, Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Rocha, Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel e Prof. Dr. Peter Fernandes Wanke pelas contribuições e apoio para avanço do trabalho.

Sou muito grato pela empresa em estudo e aos profissionais excepcionais que contribuíram com valiosas informações para o desenvolvimento desta pesquisa: Minéia, Vinícius, Luciano, Jardel, Roberto, Ivã e entre outros.

Sou muito grato a minha esposa Édina, por compreender as horas de isolamento no escritório durante esta caminhada. Este trabalho possui muito incentivo seu, pois você me deu as condições necessárias para que eu pudesse realiza-lo, muito obrigado.

RESUMO

O aumento da produtividade e eficiência em sistemas de manufatura têm atraído um interesse crescente da academia e das empresas. Uma alternativa às análises realizadas a partir de medidas técnicas tradicionais como o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é a análise de Eficiência Econômica com a utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA). Apesar da elevada quantidade de pesquisas sobre análise de Eficiência Econômica com DEA, evidências empíricas são escassas na literatura, sobretudo em sistemas manufatura. Portanto, é relevante avaliar os resultados da Eficiência Econômica para contribuir para a melhoria do resultado como um todo da empresa em relação a Eficiência Técnica em um sistema de manufatura. Esta pesquisa analisa os resultados de Eficiência Econômica, Eficiência Técnica e Eficiência Alocativa em uma empresa do setor calçadista brasileiro. As eficiências calculadas foram avaliadas longitudinalmente em um período que abrange os meses de janeiro de 2017 a junho de 2019 para os tipos de calçados feminino e esportivo, representados em quatro modelos (A, B, C e D), combinando a Análise envoltória de dados (DEA) e o teste de Wilcoxon em um estudo de caso. Como resultado, evidencia-se que a Eficiência Econômica, Eficiência Técnica e Eficiência Alocativa apresentam diferenças significativas no resultado da eficiência dos modelos avaliados. Por fim, a pesquisa aponta quais tipos de eficiência contribuem para avaliar o sistema de manufatura e o resultado financeiro da empresa investigada.

Palavras-chave: Eficiência Econômica (EE), Eficiência Técnica (ET), Eficiência Alocativa (EA), Análise Envoltória de Dados (DEA), Sistema de Manufatura.

ABSTRACT

The increase in productivity and efficiency in manufacturing systems has attracted growing interest from academia and companies. An alternative to analyzes carried out using traditional technical measures such as Overall Equipment Effectiveness (OEE) is the analysis of Economic Efficiency using Data Envelopment Analysis (DEA). Despite the high amount of research on the analysis of Economic Efficiency with DEA, empirical evidence is scarce in the literature, especially in manufacturing systems. Therefore, it is relevant to evaluate the results of Economic Efficiency to contribute to the improvement of the result as a whole of the company in relation to Technical Efficiency in a manufacturing system. This research analyzes the results of Economic Efficiency, Technical Efficiency and Allocative Efficiency in a company in the Brazilian footwear sector. The calculated efficiencies were evaluated longitudinally over a period that covers the months of January 2017 to June 2019 for the types of women's and sports shoes, represented in four models (A, B, C, and D), combining the Data Envelopment Analysis (DEA) and the Wilcoxon test in a case study. As a result, it is evident that Economic Efficiency, Technical Efficiency, and Allocative Efficiency present significant differences in the result of the efficiency of the evaluated models. Finally, the research shows which types of efficiency contribute to evaluating the manufacturing system and the financial result of the investigated company.

Keywords: Economic Efficiency (EE), Technical Efficiency (TE), Allocative Efficiency (AE), Data Envelopment Analysis (DEA), Manufacturing System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desenho de Pesquisa	23
Figura 2: Busca e elegibilidade dos estudos identificado	32
Figura 3: Áreas de aplicação da DEA	45
Figura 4: Relação entre <i>input</i> , DMU e <i>output</i> – DEA.....	47
Figura 5: Orientações do modelo CRS.....	53
Figura 6: Orientações do modelo VRS.....	57
Figura 7: Aplicações dos modelos DEA	59
Figura 8: Relação entre os tipos de eficiência calculados em DEA.....	61
Figura 9: Modelos de eficiência econômica	70
Figura 10: Estratégia para condução de pesquisas científicas	77
Figura 11: Condução do estudo de caso.....	80
Figura 12: Método de trabalho	84
Figura 13: Período de análise e quantidade de DMUs.....	88
Figura 14: Modelo para construção das DMUs	88
Figura 15: Ilustração de um modelo DEA.....	89
Figura 16: Definição das variáveis DEA	91
Figura 17: Atividades de análise dos dados.....	102
Figura 18: Processo de análises estatísticas	111
Figura 19: Distribuição das unidades produtivas da empresa.....	113
Figura 20: Fluxo completo da produção do calçado.....	115
Figura 21: Modelo de calçado feminino baixo e as partes que o compõem.....	119
Figura 22: Modelo de calçado esportivo e as partes que o compõem	120
Figura 23: Processo de produção do calçado	121

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução anual de publicações sobre eficiência econômica com DEA	31
Gráfico 2: Setores de aplicação da DEA econômica identificados	33
Gráfico 3: Setores de aplicação da DEA econômica nos trabalhos selecionados.....	33
Gráfico 4: Fronteira VRS e CRS.....	60
Gráfico 5: Faturamento mensal da unidade esportivo da Bahia.....	125
Gráfico 6: Faturamento mensal da unidade esportivo do Ceará	128
Gráfico 7: Faturamento mensal da unidade feminino do Ceará	130
Gráfico 8: Faturamento mensal da unidade feminino do Rio Grande do Sul	133
Gráfico 9: Faturamento mensal da unidade mista do Ceará	135
Gráfico 10: Evolução das eficiências do modelo A.....	142
Gráfico 11: Evolução das eficiências do modelo B.....	151
Gráfico 12: Eficiência técnica (ET) modelo C	158
Gráfico 13: Evolução das eficiências do modelo C	159
Gráfico 14: Evolução das eficiências do modelo D	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Hipóteses a serem testadas	25
Quadro 2: Termos pesquisados nas bases de dados	28
Quadro 3: Bases de dados pesquisadas.....	29
Quadro 4: Estudos identificados em sistemas de manufatura	34
Quadro 5: Técnicas para cálculo de eficiência em sistemas produtivos	43
Quadro 6: Artigos mais citados sobre DEA	48
Quadro 7: Principais trabalhos sobre a DEA.....	49
Quadro 8: Tipos de eficiência calculados em DEA.....	60
Quadro 9: Principais trabalhos sobre eficiência econômica em DEA.....	63
Quadro 10: Estudos relacionados de eficiência econômica	74
Quadro 11: Classificação geral da pesquisa	81
Quadro 12: Profissionais da empresa	85
Quadro 13: Variáveis primárias informadas pelos especialistas	91
Quadro 14: Lista final de variáveis do modelo DEA	95
Quadro 15: Síntese dos modelos avaliados.....	98
Quadro 16: Síntese das eficiências dos modelos avaliados	99
Quadro 17: Técnicas, fontes e informações.....	100
Quadro 18: Modelos e hipóteses testadas	103
Quadro 19: Estimativa de variâncias existentes no teste estatístico ANOVA.....	108
Quadro 20: Síntese das análises estatísticas efetuadas.....	110
Quadro 21: Componentes do cabedal.....	117
Quadro 22: Componentes do solado.....	118
Quadro 23: Hipóteses de pesquisa testadas e resultados	180
Quadro 24: Protocolo de revisão sistemática.....	204

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de calçados em milhões de pares.....	17
Tabela 2: Exportação de calçados em milhões de pares.....	18
Tabela 3: Evolução das publicações acadêmicas sobre eficiência econômica.....	29
Tabela 4: Publicações anuais por periódico.....	65
Tabela 5: Variação entre períodos da unidade 4 – modelo A.....	126
Tabela 6: Resumo dos <i>inputs</i> da unidade 4 - modelo A.....	126
Tabela 7: Variação entre períodos da unidade 5 – modelo A.....	128
Tabela 8: Resumo dos <i>inputs</i> da unidade 5 - modelo A.....	129
Tabela 9: Variação entre períodos da unidade 1 – modelo B.....	131
Tabela 10: Resumo dos <i>inputs</i> o modelo B.....	131
Tabela 11: Variação entre períodos da unidade 2 – modelo C.....	133
Tabela 12: Resumo dos <i>inputs</i> o modelo C.....	134
Tabela 13: Variação entre períodos da unidade 3 – modelo D.....	136
Tabela 14: Resumo dos <i>inputs</i> o modelo D.....	136
Tabela 15: Escores de eficiência do modelo A.....	137
Tabela 16: Resumo das eficiências do modelo A.....	139
Tabela 17: Resultados de correlação das eficiências para o modelo A.....	140
Tabela 18: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo A.....	143
Tabela 19: Resumo da variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 4 – modelo A.....	144
Tabela 20: Resumo da variação do preço dos <i>inputs</i> da unidade 4 – modelo A.....	145
Tabela 21: Resumo da variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 5 – modelo A.....	145
Tabela 22: Resumo da variação do preço dos <i>inputs</i> da unidade 5 – modelo A.....	146
Tabela 23: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo A.....	146
Tabela 24: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo A.....	147
Tabela 25: Escores de eficiência do modelo B.....	148
Tabela 26: Resumo das eficiências do modelo B.....	149
Tabela 27: Escores de correlação para o modelo B.....	150
Tabela 28: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo B.....	152
Tabela 29: Resumo da variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 5 – modelo B.....	153
Tabela 30: Resumo da variação do preço dos <i>inputs</i> da unidade 1 – modelo B.....	154
Tabela 31: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo B.....	154
Tabela 32: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo B.....	155

Tabela 33: Escores de eficiência do modelo C	156
Tabela 34: Resumo das eficiências do modelo C	157
Tabela 35: Escores de correlação para o modelo C	159
Tabela 36: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo C	160
Tabela 37: Resumo da variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 2 – modelo C..	161
Tabela 38: Resumo da variação do preço dos <i>inputs</i> da unidade 2 – modelo C	162
Tabela 39: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo C.....	162
Tabela 40: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo C	163
Tabela 41: Escores de eficiência do modelo D	164
Tabela 42: Resumo das eficiências do modelo D	165
Tabela 43: Escores de correlação para o modelo D	166
Tabela 44: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo D	169
Tabela 45: Resumo da variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 3 – modelo D..	170
Tabela 46 : Resumo da variação do preço dos <i>inputs</i> da unidade 3 – modelo D....	171
Tabela 47: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo D.....	171
Tabela 48: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo D	172
Tabela 49: Análise comparativa dos modelos avaliados.....	173
Tabela 50: Escores de eficiência calculados pela empresa	175
Tabela 51: Escores de eficiência OEE calculados pela empresa.....	176
Tabela 52: Escores de eficiência do modelo E.....	176
Tabela 53: Escores de eficiência do modelo F.....	177
Tabela 54: Análise comparativa da eficiência média das unidades produtivas.....	179
Tabela 55: Variação do volume e preço da unidade 4 – modelo A	205
Tabela 56: Variação volume e preço da unidade 5 – modelo A	206
Tabela 57: Variação volume e preço da unidade 1 – modelo B	207
Tabela 58: Variação volume e preço da unidade 2 – modelo C.....	208
Tabela 59: Variação volume e preço da unidade 3 – modelo D.....	209
Tabela 60: Variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 4 – modelo A.....	210
Tabela 61: Variação dos preços dos <i>inputs</i> da unidade 4 – modelo A.....	211
Tabela 62: Variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 5 – modelo A.....	212
Tabela 63: Variação dos preços dos <i>inputs</i> da unidade 5 – modelo A.....	213
Tabela 64: Variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 1 – modelo B.....	214
Tabela 65: Variação dos preços dos <i>inputs</i> da unidade 1 – modelo B.....	215
Tabela 66: Variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 2 – modelo C.....	216

Tabela 67: Variação dos preços dos <i>inputs</i> da unidade 2 – modelo C.....	217
Tabela 68: Variação do volume dos <i>inputs</i> da unidade 3 – modelo D.....	218
Tabela 69: Variação dos preços dos <i>inputs</i> da unidade 3 – modelo D.....	219

LISTA DE SIGLAS

AE	Eficiência Alocativa
ABICALÇADOS	Associação Brasileira das Indústrias de Calçados
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
CNC	Comando Numérico Computadorizado
COLS	<i>Corrected Ordinary Least Squares</i> (Mínimos Quadrados Ordiniais Corrigidos)
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i> (Retorno Constante de Escala)
CST	Custo do Produto
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados)
DMU	<i>Decision Making Unit</i> (Unidades de Tomada de Decisão)
EC	Eficiência de Custos
EE	Eficiência Econômica
EFA	Eficiência Financeira Aberta
EFF	Eficiência Financeira Fechada
EL	Eficiência de Lucro
ER	Eficiência de Receita
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FAT	Faturamento
MA	Modelo A
MB	Modelo B
MC	Modelo C
MD	Modelo D
ME	Modelo E
MF	Modelo F
MTO	<i>Make-to-Order</i> (Produzido por Encomenda)
OC	Ordem de Compra
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficiência Global do Equipamento)
OLS	<i>Ordinary Least Squares</i> (Mínimos Quadrados Ordiniais)
OS	Ordem de Serviço
PIB	Produto Interno Bruto
PPCP	Planejamento, Programação e Controle da Produção
RS	Resultado
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RZ	Razão
SFA	<i>Stochastic Frontier Analysis</i> (Análise da Fronteira Estocástica)
TE	Eficiência Técnica
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i> (Retorno Variável de Escala)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo Geral	26
1.2.2 Objetivos Específicos	26
1.3 JUSTIFICATIVA	26
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	37
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	38
2.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA	38
2.1.1 Produtividade	38
2.1.2 Eficiência	39
2.1.3 Métodos para Cálculo de Eficiência	41
2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)	44
2.2.1 Modelo Retorno Constante de Escala (CCR - CRS)	51
2.2.2 Modelo Retorno Variável de Escala (BCC - VRS)	55
2.2.3 Tipos de Eficiência Calculadas em DEA	60
2.2.4 Alvos e Folgas	61
2.2.5 Eficiência Econômica	62
2.2.5.1 Modelo de Eficiência de Custos (EC)	66
2.2.5.2 Modelo de Eficiência de Receita (ER)	68
2.2.5.3 Modelo de Eficiência de Lucro (EL)	68
2.2.6 Estudos relacionados de eficiência econômica em sistemas de manufatura ...	70
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	76
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	76
3.2 MÉTODO DE TRABALHO	82
3.3 PROJETO DO MODELO DEA	84
3.3.1 Definição das unidades e período de análise	86
3.3.2 Definição das unidades de tomada de decisão (DMUs)	87
3.3.3 Definição das variáveis do modelo DEA (<i>input</i> e <i>output</i>)	89
3.3.4 Definição dos modelos para cálculo das medidas de eficiência	96
3.3.4.1 Eficiência Econômica (EE)	96
3.3.4.2 Eficiência Técnica (ET)	96
3.3.4.3 Eficiência Alocativa (EA)	97

3.3.4.4 Eficiência Financeira Aberta (EFA)	97
3.3.4.5 Eficiência Financeira Fechada (EFF)	97
3.3.4.6 Razão (RZ).....	98
3.3.5 Definição da orientação para os modelos DEA (<i>input</i> ou <i>output</i>)	98
3.3.6 Síntese dos modelos avaliados.....	98
3.4 COLETA DOS DADOS.....	99
3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	101
3.5.1 Análises Estatísticas	104
3.5.1.1 Teste de Shapiro-Wilk	105
3.5.1.2 Teste de Levene.....	106
3.5.1.3 Análise de Variância (ANOVA).....	107
3.5.1.4 Teste de Wilcoxon.....	109
3.6 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	111
4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ANALISADA	113
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS.....	116
4.1.1 Construção superior	117
4.1.2 Construção inferior	118
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	120
4.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CASOS ANALISADOS	124
4.3.1 MODELO A (MA) – Unidades produtivas de calçados esportivos.....	124
4.3.1.1 Apresentação da unidade esportivo da Bahia.....	125
4.3.1.2 Apresentação da unidade esportivo do Ceará	127
4.3.2 MODELO B (MB) – Unidade produtiva de calçados femininos	129
4.3.2.1 Apresentação da unidade feminino do Ceará	130
4.3.3 MODELO C (MC) – Unidade produtiva de calçados femininos.....	132
4.3.3.1 Apresentação da unidade feminino do Rio Grande do Sul.....	132
4.3.4 MODELO D (MD) – Unidade produtiva de calçados mista.....	134
4.3.4.1 Apresentação da unidade de calçados feminino e esportivo do Ceará.....	134
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	137
5.1 AVALIAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS.....	137
5.1.1 Análise da eficiência do MODELO A (MA)	137
5.1.1.1 Análises estatísticas do modelo A.....	146
5.1.2 Análise da eficiência do MODELO B (MB)	148
5.1.2.1 Análises estatísticas do modelo B.....	154

5.1.3 Análise da eficiência do MODELO C (MC).....	156
5.1.3.1 Análises estatísticas do modelo C.....	162
5.1.4 Análise da eficiência do MODELO D (MD).....	164
5.1.4.1 Análises estatísticas do modelo D.....	171
5.2 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS POR TIPO DE NEGÓCIO.....	173
5.3 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS POR TIPO DE PLANTA PRODUTIVA.....	174
5.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	179
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	182
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	186
REFERÊNCIAS.....	189
ANEXO A – PROTOCOLO DE PESQUISA.....	204
ANEXO B – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 4 – MODELO A	205
ANEXO C – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 5 – MODELO A	206
ANEXO D – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 1 – MODELO B	207
ANEXO E – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 2 – MODELO C.....	208
ANEXO F – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 3 – MODELO D.....	209
ANEXO G – VARIAÇÃO DOS <i>INPUTS</i> DA UNIDADE 4 – MODELO A	210
ANEXO H – VARIAÇÃO DOS <i>INPUTS</i> DA UNIDADE 5 – MODELO A	212
ANEXO I – VARIAÇÃO DOS <i>INPUTS</i> DA UNIDADE 1 – MODELO B	214
ANEXO J – VARIAÇÃO DOS <i>INPUTS</i> DA UNIDADE 2 – MODELO C	216
ANEXO L – VARIAÇÃO DOS <i>INPUTS</i> DA UNIDADE 3 – MODELO D.....	218

1 INTRODUÇÃO

A base para o desenvolvimento econômico de um país no longo prazo reside no aumento da produtividade e da eficiência, ou seja, como os sistemas produtivos conseguem maximizar a geração de bens e serviços ou por meio da minimização do uso dos recursos produtivos (AMBRÓZIO; FERREIRA; SOUSA, 2019). Deste modo, investigar os elementos que afetam tanto a produtividade quanto a eficiência e os métodos de gestão utilizados, torna-se um diferencial competitivo para as empresas (NEGRI; ALMEIDA, 2010).

Negri e Cavalcante (2014) sinalizam para uma queda da produtividade industrial brasileira e, para tanto, uma necessidade de compreensão dos fatores motivadores desta situação. A necessidade de oferecer ao mercado produtos em um tempo menor, melhor qualidade e à custos reduzidos, exige a aplicação de práticas de gestão de produção. Logo, é fundamental que as empresas tenham meios para compreender e analisar seus sistemas produtivos em geral, em especial o sistema de manufatura, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, e conhecer seus índices de produtividade e eficiência e as características do ambiente em que estão inseridas (D'ANTONIO; BEDOLLA; CHIABERT, 2017; KASSANEH; WORKALEMAHU, 2018; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018; SOUZA, 2014).

O setor industrial brasileiro é responsável direto pelo desenvolvimento tecnológico e econômico do país, onde a reduzida produtividade e a ineficiência nas empresas tornaram-se centrais no debate econômico (NEGRI; CAVALCANTE, 2014). Apesar da importância da produtividade e eficiência para o desenvolvimento brasileiro, não se observa um desempenho satisfatório nesse quesito (AMBRÓZIO; FERREIRA; SOUSA, 2019). A revista Exame (2014) relata que entre os anos de 1990 e 2010 o Produto Interno Brasileiro (PIB) seria 45% superior ao realizado, se o efeito da produtividade e eficiência não fosse negativo. O jornal O Estado de São Paulo (2019), publicou que a taxa de produtividade e eficiência das empresas brasileiras reduziu ao nível de 2012, ou seja, 2,7% inferior ao pico alcançado no primeiro trimestre de 2014.

Dentre os setores industriais brasileiros destaca-se o calçadista, que teve início por volta do ano de 1824 com a chegada dos imigrantes alemães ao Rio Grande do Sul. Esse mercado iniciou artesanalmente e evoluiu ao modelo industrial, seguindo a tendência de outros produtos durante a revolução industrial. A industrialização do calçado no país foi alavancada pelo mercado exportador desse produto, sendo que o

Brasil figurou entre os maiores exportadores de calçados do mundo durante o século XX, até que os países Asiáticos iniciaram uma significativa concorrência, ofertando preços reduzidos aos países importadores de calçados (KLAUS, 2016; PAULA; FUCK, 2012). A Tabela 1 apresenta o *ranking* dos países produtores de calçados em milhões de pares.

Tabela 1: Produção de calçados em milhões de pares

País	2015	2016	2017
China	11.322	11.116	11.410
Índia	2.698	2.797	2.868
Vietnã	927	971	1.255
Brasil	912	933	943
Indonésia	733	771	810
Nigéria	406	415	429
Paquistão	251	258	265
México	250	253	264
Tailândia	226	231	238
Itália	191	188	190
Outros	2.561	2.660	2.808
Total	20.477	20.593	21.480

Fonte: ABICALÇADOS (2018).

A Associação Brasileira das Indústrias de Calçados (Abicalçados) (2018) expõe em seu relatório setorial, que o Brasil vem reduzindo sua participação relativa no mercado em termos mundiais de produção e exportação de calçados ocupando o quarto lugar, atrás de China, Índia e Vietnã. No mercado interno, a queda chega a aproximadamente 7,3% frente ao incremento da produção do mercado externo, que é cerca de 10%, posicionando o país no 11º lugar no *ranking* de exportadores, atrás de países com pouca tradição na produção calçadista como o caso da Bélgica e da Holanda (ABICALÇADOS, 2018). A Tabela 2 apresenta o *ranking* dos países exportadores de calçados em milhões de pares.

Essa perda de competitividade do setor calçadista brasileiro pode ser avaliada por meio de uma série de fatores, como elevados custos de produção, elevadas cargas tributárias, reduzida infraestrutura de transporte, ineficiência logística, regulamentações e burocracias em excesso, políticas econômicas defasadas e entre outros (ABICALÇADOS, 2018). A Abicalçados (2018) aponta ainda que, a reduzida produtividade e a ineficiência produtiva das empresas se sobressaem como agravantes dessa situação.

Tabela 2: Exportação de calçados em milhões de pares

País	2015	2016	2017
China	8.341	8.049	8.258
Vietnã	617	654	926
Indonésia	366	387	407
Alemanha	237	252	281
Bélgica	239	236	249
Itália	208	206	216
Reino unido	191	213	194
Índia	177	181	185
Países baixos	142	146	181
Espanha	158	160	164
Brasil	124	126	127
Outros	1.252	1.276	1.315
Total	12.053	11.886	12.502

Fonte: ABICALÇADOS (2018).

Ambrózio, Ferreira e Sousa (2019) pontuam que o aumento em produtividade e eficiência são necessários para o desenvolvimento industrial brasileiro. Neste panorama, observa-se que o setor calçadista carece de medidas e ações que impulsionem suas atividades e projetem crescimento tanto técnico quanto econômico desse seguimento. Negri e Almeida (2010) salientam que a indústria calçadista não é marcada por inovações tecnológicas em fatores de produção ou processos de gestão, devido principalmente ao modo de produção artesanal do calçado. Deste modo, melhorias nos níveis de produtividade e eficiência tornam-se uma vantagem competitiva para as empresas desse setor (GRIFELL-TATJÉ; LOVELL, 2008).

Uma das técnicas utilizadas para a melhoria dos sistemas de manufatura é focada na análise da produtividade e da eficiência a partir da Análise Envoltória de Dados (DEA) (DE PARIS, 2016; GILSA et al., 2017; PIRAN et al., 2016). Com a análise dos níveis de produtividade e eficiência com a DEA é possível uma melhor alocação e utilização dos recursos produtivos, tanto técnicos quanto econômicos (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). No entanto, apesar da evolução em estudos sobre análise de produtividade e eficiência, em especial sobre a eficiência técnica, a literatura aponta que são escassos e insuficientes os estudos que avaliem a eficiência econômica dos sistemas de manufatura (SILVA PORTELA; THANASSOULIS, 2014).

Desta maneira, o modo como as empresas transformam seus insumos em produtos acabados ou serviços e, principalmente, como alocam os custos de suas operações, está relacionada com o resultado econômico alcançado. Além disso, a

análise da produtividade e da eficiência econômica dos sistemas de manufatura possibilitam a identificação de ineficiências na utilização dos recursos disponíveis. Deste modo, tornando-se uma prática essencial para garantir a competitividade do setor calçadista, provendo aos gestores informações para uma melhor tomada de decisão.

A produtividade e eficiência são assuntos recorrentes em diversos setores industriais e, sobretudo, no segmento calçadista (COOPER et al., 2011; LIU; LU; LU, 2016). Identificar os pontos de ineficiência, tanto técnicos como alocativos, em um sistema de manufatura, torna-se essencial para que as empresas possam concorrer em um mercado globalizado oferecendo produtos de melhor qualidade e com o menor custo possível. Tendo em vista o presente cenário, o tema desta pesquisa consiste na eficiência econômica de sistemas de manufatura no setor calçadista. Na próxima seção, são apresentados o objeto do estudo e o problema de pesquisa.

1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

A empresa onde o estudo foi realizado opera no mercado calçadista brasileiro há mais de 75 anos. Sua matriz está localizada no Vale do Sinos no estado do Rio Grande do Sul, possui mais quatro plantas produtivas, sendo três no Ceará e uma na Bahia. O principal enfoque da empresa é a produção de calçados do tipo *Private Label*, os quais a empresa produz e levam a marca do contratante, atuando nos seguimentos de calçados feminino e esportivo e atendendo o mercado interno e externo.

O sistema produtivo da empresa é do tipo sob encomenda (*Make-To-Order*) (MTO), ou seja, a produção inicia após o pedido firme do cliente. O sistema de manufatura é predominantemente do tipo em linha (*flow shop*). O processo produtivo da empresa pode ser dividido entre: i) desenvolvimento técnico, ii) corte, iii) pré-costura, iv) costura, v) pré-fabricado, vi) montagem e vii) acabamento. Um resumo esquemático das etapas produtivas do calçado é apresentado na Figura 1, o detalhamento de cada etapa será apresentado posteriormente.

A eficiência econômica de um sistema de manufatura pode ser observada por meio de dois aspectos centrais: i) aumentos de produtividade (eficiência técnica), e; ii) efeitos no preço dos insumos (eficiência alocativa) (GRIFELL-TATJÉ; LOVELL, 2008; KUOSMANEN; POST, 2001; SILVA PORTELA, 2014). É evidente que os incrementos em eficiência técnica têm o potencial de contribuir para um aumento do

resultado econômico da empresa ao utilizar os recursos de produção, mas é igualmente razoável que outros fatores (por exemplo, uma estrutura de preços favoráveis) também possam contribuir para esse resultado (SAHOO; TONE, 2009).

O setor calçadista brasileiro enfrenta uma acirrada competição por preços com produtores e exportadores de calçados globais, em especial os asiáticos. Kuosmanen e Post (2001) expõe preocupações ao verificarem que os estudos de produtividade e eficiência tem como principal motivação a análise de eficiência técnica.

Para avaliar a eficiência técnica do sistema de manufatura a empresa estudada utiliza o Índice de Eficiência Global dos Equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness* – OEE). O OEE é uma métrica amplamente utilizada na indústria de manufatura para medir a eficiência de máquinas e equipamentos no processo de manufatura (CHIARADIA, 2004) e, de modo geral, é utilizado como indicador de gestão, identificando perdas e auxiliando os gestores na tomada de decisão operacional (RAPOSO, 2011; NAKAJIMA, 1989).

O OEE é uma medida da produtividade de equipamentos alcançada pelo produto de outros três índices: o índice de disponibilidade, o índice de performance e o índice de qualidade (CHIARADIA, 2004). Um ponto que se sobressai deste indicador é que ele considera apenas as perdas em nível operacional e está limitado à análise individual de equipamentos, ou seja, é uma medida local. Logo, mesmo sendo um indicador amplamente utilizado pelas empresas de manufatura, sua utilização não traduz de modo global a eficiência da empresa, pois outros elementos como os custos da operação não são considerados (DE PARIS, 2016; MUCHIRI; PINTELON, 2008).

A empresa, objeto do estudo, não dispõe de indicadores de eficiência econômica para medir o processo de manufatura que permita identificar ineficiências de alocação de custos. Esse fato torna complexa e inconclusa as tentativas dos gestores em analisar a eficiência econômica e comparar os resultados entre as unidades produtivas com o objetivo de identificar oportunidades de melhoria.

Na tentativa de avaliar eficiência econômica, são utilizadas ferramentas tradicionais como a contabilidade de custos para fins gerenciais, sendo que o sistema de custos utilizado pela empresa é o método de custeio por absorção integral. A empresa considera a produção total de calçados da unidade em análise em determinado período de tempo, multiplicado pelo preço de venda unitário, subtraído os custos totais para produzir, como indicador de eficiência econômica.

Entretanto, o modo de avaliação utilizado pela empresa não considera o contexto da manufatura, não apontando ineficiências em níveis tático e operacionais. Scheuermann, Azevedo e Haberkamp (2014) argumentam que as empresas ainda possuem reduzido conhecimento sobre os métodos de custeio e poucas fazem uso dos métodos como apoio no processo de tomada de decisão. Este fato também é evidenciado na pesquisa de Estrela et al. (2002), onde os pesquisadores investigaram 14 empresas calçadistas no estado da Paraíba e constatam que mais de 64% das empresas não dispõe de um sistema de análise de indicadores econômicos para produção ou se demonstraram preocupadas com a eficiência econômica do negócio.

Deste modo, tanto a análise de eficiência técnica medida pelo OEE quanto a análise de eficiência alocativa medida pela contabilidade de custos individualmente, não são ferramentas suficientes para que os gestores tomem decisões acerca de seus processos de manufatura, uma vez que, medidas parciais de eficiência podem variar em direções opostas, e assim, nenhuma dessas medidas isoladas pode ser expressamente vinculada à eficiência do sistema produtivo como um todo (GRIFELL-TATJÉ; LOVELL, 2008). Portanto, a utilização de métodos e técnicas específicas para a determinação da eficiência do processo de manufatura que permita tanto a análise da eficiência técnica quanto da eficiência de custos torna-se um diferencial para a empresa no auxílio a tomada de decisão pelos gestores (MORO et al., 2017; SILVA PORTELA, 2014).

Uma técnica utilizada para avaliação de produtividade e eficiência nos sistemas de manufatura é a Análise Envoltória de Dados (DEA) (DE PARIS, 2016; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). A DEA como técnica para análise de eficiência permite que os gestores avaliem as eficiências técnica, alocativa e econômica das empresas de maneira integrada permitindo uma análise global do sistema de manufatura (ZHU et al., 2012). Liu et al. (2016) e Emrouznejad e Yang (2018) apontam o crescimento exponencial em análises de produtividade e eficiência com a utilização da DEA.

No setor de eletrônicos e microprocessadores, Lozano e Eguia (2017) avaliam eficiência de custos do sistema produtivo, Silambarasan e Azhagaiah (2018) analisam a eficiência de lucro de 16 empresas na Índia, Das e Patel (2014) investigam 24 indústrias manufatureiras de medicamento, Josson e Blomberg (2011) analisam 10 indústrias de fundição de aço, Mamun et al. (2010) avaliam a eficiência de 82 indústrias de Bangladesh, Leachman et al. (2007) avaliam 10 empresas de semicondutores, Ray, Seiford e Zhu (1998) avaliam 34 indústrias de fundição chinesas

e Ray e Kim (1995) avaliam a eficiência de custos de uma indústria de fundição nos Estados Unidos.

Ainda que esses estudos realizem análises de eficiência econômica em sistemas de manufatura, Portela (2014) e Portela e Thanassoulis (2014), Hansson e Ohlmer (2008) e Kushwaha e Venkatesh (2017) apontam que análises de eficiência econômica são preteridas às análises de eficiência técnica, e que isso ocorre devido, principalmente, à dificuldade de acesso aos dados de preços dos *inputs*.

Entretanto, apesar dos estudos sobre eficiência técnica apresentarem um potencial de melhoria a partir da análise da melhor combinação de *inputs* e *outputs* para cada DMU a relação dos preços desses *inputs* não é levada em consideração. Deste modo, avaliar o sistema de manufatura somente pelo viés da eficiência técnica, como o caso da empresa estudada, pode fazer os gestores tomarem decisões equivocadas quanto a utilização dos recursos disponíveis, visto que, este tipo de análise não captura as variações de mercado, como o preço dos insumos ou leva em consideração a formação do *mix* de produção (HANSSON; ÖHLMÉR, 2008; MANJUNATHA et al., 2011; VENKATESH; KUSHWAHA, 2018b).

Hansson e Ohlmer (2008), Sahoo e Tone (2009), Portela (2014) e Grifell-Tatjé e Lovell (2008) apontam que a utilização de um indicador que envolva tanto a eficiência técnica quanto alocativa traz uma melhor compreensão da eficiência econômica do processo de manufatura, tornando-se uma melhor métrica do que as demais isoladamente. Kilic e Alkan (2009) reforçam que a utilização desse indicador permite aos gestores simultaneamente identificar a origem da ineficiência e torna-se um diferencial competitivo para as empresas.

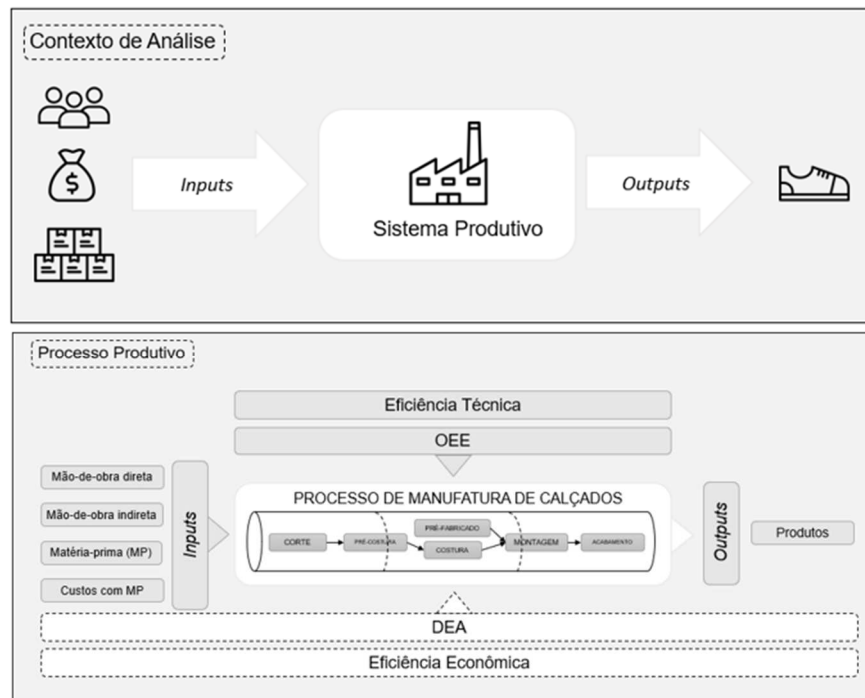
Logo, para se tornar economicamente eficiente, é preciso que a empresa tenha elevados níveis de eficiência técnica e alocativa. Ser alocativamente eficiente significa avaliar e melhor alocar os recursos de produção de maneira adequada, considerando os seus preços para a produção dos produtos com o objetivo de minimizar os custos de produção e otimizar a produção, que no caso da empresa estudada, é a produção de calçados (KUOSMANEN; POST; SIPILÄINEN, 2016; SUSAETA et al., 2016)

Identifica-se que uma parte significativa dos estudos não é voltada para a análise da eficiência econômica do processo de manufatura e, que também, não foram encontrados estudos semelhantes ao setor de atuação da empresa estudada. Logo, produzir com uma menor utilização de insumos e a um custo reduzido é uma premissa, não sendo diferente para o setor calçadista brasileiro. Além disso, a forte

concorrência, principalmente com os países asiáticos, faz as empresas calçadistas brasileiras precisarem avançar na busca de meios para reduzir o *gap* de produtividade e eficiência se comparada com produtores internacionais (ALI, 2018; GUIDOLIN; COSTA; ROCHA, 2010; SOMMER, 2002).

Deste modo, como a realidade dessas empresas é de não dispor de recursos econômicos para investimentos vultuosos, é preciso que ações focadas na melhor utilização dos recursos de produção existentes sejam endereçadas, objetivando a redução da utilização dos insumos e um aumento nos níveis de produção. Assim, análises de eficiência econômica do sistema de manufatura dessas empresas, pode gerar um diferencial competitivo. A Figura 1 ilustra o desenho de pesquisa.

Figura 1: Desenho de Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quanto à análise do processo produtivo, este é constituído de um conjunto de variáveis chamadas de *inputs*. Dentre os *inputs*, estão os recursos necessários à produção do produto acabado como: mão de obra direta, mão de obra indireta, matéria prima, entre outros. Nesse contexto, para desenvolver a investigação, analisa-se o comportamento dos resultados produtivos ao longo do tempo. Os produtos (*outputs*) da empresa são os calçados produzidos. O processo de manufatura do calçado pode ser agrupado em três macroprocessos: i) corte; ii) costura, e; ii) montagem. O processo de corte consiste no recebimento dos materiais de corte, como o couro e

tecidos e sintéticos, e no posterior corte destes materiais de maneira manual ou por meio de prensas hidráulicas (balancim) e de máquinas automáticas controlados por controle numérico (CNC). As peças cortadas passam ao processo de pré-costura onde são preparadas (chanfradas, dobradas, coladas, serigrafadas e entre outros) e depois a processo de costura onde ocorre a união das peças do cabedal do calçado. Na montagem, paralelamente ao corte e costura do cabedal, ocorre o processo de preparação das palmilhas e solados no setor de pré-fabricado que são adquiridos por meio de fornecedores externos. Em seguida, ocorre a fixação do cabedal e do solado na forma, com a fixação das diversas partes que irão compor o calçado. Por fim, ocorre a montagem final e acabamento do calçado. Os processos de manufatura do calçado são detalhados na seção 4.2.

O processo de manufatura do calçado descrito é apresentado na Figura 1 e nele estão inseridas as análises de eficiência técnica realizada pela empresa por meio do OEE. Também se observa a comparação da eficiência econômica medida pela DEA que a empresa poderá utilizar. Como citado anteriormente, o OEE isoladamente não é suficiente para medir o desempenho de um processo de manufatura como um todo, assim como a eficiência técnica isoladamente medida pela DEA. Uma melhor eficiência técnica não significa uma melhor eficiência econômica. Neste sentido, é necessário ir além das pesquisas realizadas sobre eficiência técnica em sistemas de manufatura e também avaliar a eficiência econômica, ou seja, analisar em conjunto a melhor utilização e alocação dos recursos produtivos.

Após o entendimento do processo produtivo, é necessário compreender a estrutura de análise da eficiência do sistema de manufatura da empresa para verificar se a eficiência econômica apresenta vantagens se comparada a eficiência técnica (**H₁**), eficiência alocativa (**H₂**), eficiência financeira aberta (**H₃**), eficiência financeira fechada (**H₄**) e, por fim, pelo cálculo da razão entre a soma dos *outputs* e a soma dos *inputs* (**H₅**). O Quadro 1 apresenta hipóteses a serem testadas.

Quadro 1: Hipóteses a serem testadas

Análise comparativa	Hipótese testada
Eficiência Econômica x Eficiência Técnica	H_{1a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência técnica observada pela DEA.
	H_{1b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência técnica observada pela DEA.
Eficiência Econômica x Eficiência Alocativa	H_{2a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência alocativa observada pela DEA.
	H_{2b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência alocativa observada pela DEA.
Eficiência Econômica x Eficiência Financeira Aberta	H_{3a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira aberta observada pela DEA.
	H_{3b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira aberta observada pela DEA.
Eficiência Econômica x Eficiência Financeira Fechada	H_{4a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira fechada observada pela DEA.
	H_{4b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira fechada observada pela DEA.
Eficiência Econômica x Razão	H_{5a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida observada pela DEA difere se comparada com a razão da soma ponderada pelos preços dos outputs pelos inputs.
	H_{5b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida observada pela DEA difere se comparada com a razão da soma ponderada pelos preços dos outputs pelos inputs.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para desenvolver a investigação do processo produtivo da empresa, analisa-se o comportamento das eficiências ao longo do tempo e identifica-se a relação com os resultados operacionais da empresa. Esta análise tem como função evidenciar qual tipo de eficiência pode trazer maior riqueza de informações para auxiliar os gestores da empresa na tomada de decisão, visto que uma melhor utilização dos recursos resulta em melhores resultados econômicos para a empresa.

Com a apresentação deste contexto e da representatividade da indústria calçadista na economia brasileira e, ainda, das atuais dificuldades econômicas e dos problemas enfrentados pelos sistemas de manufatura em melhorar seus níveis de

competitividade, entende-se como relevante o tema desta pesquisa. Portanto, surge a questão central, a qual motiva a realização deste trabalho: Como avaliar a eficiência econômica em sistemas de manufatura no setor calçadista? Após a apresentação do objeto de estudo e do problema de pesquisa, a próxima seção evidencia os objetivos deste trabalho, apontando os resultados esperados com a pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos da presente pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar exploratoriamente a eficiência técnica, alocativa e econômica de um sistema de manufatura sob encomenda em uma empresa do setor calçadista com a aplicação da DEA.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho, busca-se:

- Avaliar comparativamente as eficiências técnicas e a eficiência econômica para cada caso de análise;
- Avaliar a eficiência econômica calculada frente ao resultado econômico de cada modelo analisado;

Na seção 1.3 são descritos os argumentos que justificam a elaboração do presente trabalho.

1.3 JUSTIFICATIVA

A literatura aponta a utilização da DEA para o cálculo da eficiência como tema recorrente em trabalhos e pesquisas na área de Gestão de Operações (COOPER et al., 2011; EMROUZNEJAD; YANG, 2018). No entanto, a principal parte desses estudos tem enfoque na análise de eficiência técnica, não levando em consideração

variáveis econômicas (BLOMBERG; JONSSON, 2011; CAMANHO; DYSON, 2005; EMROUZNEJAD; YANG, 2018; KUOSMANEN; POST, 2001; SILVA PORTELA, 2014; VENKATESH; KUSHWAHA, 2018a). Tal fato apresenta-se como uma oportunidade de estudo, visto que, uma elevada eficiência técnica não obrigatoriamente representa uma elevada eficiência econômica (BLOMBERG; JONSSON, 2011; SHIRAZ et al., 2018; VENKATESH; KUSHWAHA, 2018a). Nesse contexto, identifica-se a necessidade de se avançar em estudos detalhados no tocante ao tema da eficiência econômica (EMROUZNEJAD; YANG, 2018; GATTOUFI; ORAL; REISMAN, 2004; SILVA PORTELA, 2014; ZHU et al., 2012).

Para subsidiar a justificativa do ponto de vista acadêmico, efetuou-se uma revisão sistemática de literatura (RSL). Essa revisão foi composta por dois estágios, a saber: i) buscou-se avaliar o interesse acadêmico pelo tema de eficiência econômica com a utilização da técnica de análise envoltória de dados; ii) buscou-se identificar pesquisas publicadas que realizam a análise de eficiência econômica com a DEA e as áreas de concentração.

A revisão da literatura observou o método proposto por Morandi e Camargo (2015). Embasado em Portela (2014) e Gatotoufi et al. (2004) foram definidas as seguintes palavras/termos-chave para consulta: *Data Envelopment Analysis* (Análise Envoltória de Dados), *Economic Efficiency* (Eficiência Econômica), *Cost Efficiency* (Eficiência de Custos), *Revenue Efficiency* (Eficiência de Receitas), *Allocative Efficiency* (Eficiência Alocativa) e *Profit Efficiency* (Eficiência de Lucros). O Quadro 2 sintetiza os termos de busca utilizados.

Quadro 2: Termos pesquisados nas bases de dados

Base de dados	Termos de Busca	Documentos encontrados	Sem duplicatas
SCOPUS	<i>(ABS ("data envelopment analysis") AND ABS ("economic efficiency" OR "cost efficiency" OR "revenue efficiency" OR "profit efficiency" OR "allocative efficiency")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Data Envelopment Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cost Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Economic Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Allocative Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "DEA") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Data Envelopment Analysis (DEA)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Profit Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Revenue Efficiency")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))</i>	411	411
EBSCO	<i>AB "data envelopment analysis" AND AB ("economic efficiency" OR "cost efficiency" OR "revenue efficiency" OR "profit efficiency" OR "allocative efficiency")</i>	347	255
SCIELO	<i>("data envelopment analysis") AND ("economic efficiency" OR "cost efficiency" OR "revenue efficiency" OR "profit efficiency" OR "allocative efficiency")</i>	20	20
WoS	<i>(TI=("Data Envelopment Analysis" and "economic efficiency" OR "cost efficiency" OR "revenue efficiency" OR "profit efficiency" OR "allocative efficiency")) AND IDIOMA: (English) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article) Refinado por: [excluindo] ANOS DE PUBLICAÇÃO: (1977 OR 1976 OR 1975 OR 1974 OR 1971 OR 1969 OR 1968 OR 1966 OR 1961) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (ARTICLE) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (ARTICLE)</i>	752	752
Total de documentos encontrados		1.530	1.438

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A busca por artigos e dissertações utilizando as palavras/termos-chave definidas foi efetuada em bases de dados nacionais e internacionais. Para atender ao requisito de pesquisa, uma dessas palavras/termos-chave deveria constar no título, resumo ou palavras-chave do artigo. Nas bases de dados acessadas foram utilizados filtros para remover áreas não relacionadas ao tema de pesquisa, tais como Ciências da Saúde, Química industrial e Geologia, por exemplo. O Quadro 3 sintetiza as bases pesquisadas.

Quadro 3: Bases de dados pesquisadas

Categoria	Fonte de informação
Bases de informação de periódicos científicos – Internacionais	EBSCO SCOPUS WEB OF SCIENCE SCIELO
Bases de informação de periódicos científicos, teses e dissertações – Nacionais	SCIELO

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No Anexo A é apresentado o protocolo de pesquisa embasado em Morandi e Camargo (2015) utilizado neste trabalho. Os resultados relativos ao primeiro estágio da pesquisa (evolução do interesse acadêmico pelo tema) são sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3: Evolução das publicações acadêmicas sobre eficiência econômica

Período	Ebsco	Scopus	Web of Science	Scielo	Total de publicações
2018	22	37	47	1	107
2017	24	45	60	1	130
2016	19	34	65	1	119
2015	22	26	42	3	93
2014	12	35	37	-	84
2013	24	40	39	3	106
2012	14	26	28	1	69
2011	16	22	43	2	83
2010	11	29	37	1	78
2009	16	18	28	1	63
2008	12	17	31	1	61
2007	10	12	19	1	42
2006	13	19	26	2	60
2005	6	5	25	-	36
2004	6	5	18	-	29
2003	4	7	14	-	25
2002	3	5	16	-	24

Período	Ebsco	Scopus	Web of Science	Scielo	Total de publicações
2001	3	3	11	-	17
2000	1	6	14	1	22
1999	2	5	8	1	16
1998	2	5	14	-	21
1997	-	-	13	-	13
1996	3	5	12	-	20
1995	1	-	11	-	12
1994	-	-	5	-	5
1993	1	1	8	-	10
1992	1	3	7	-	11
1991	-	1	4	-	5
1990	1	-	6	-	7
1989	-	-	8	-	8
1988	-	-	4	-	4
1987	-	-	10	-	10
1986	-	-	3	-	3
1985	-	-	5	-	5
1984	-	-	5	-	5
1983	-	-	6	-	6
1982	-	-	6	-	6
1981	-	-	8	-	8
1980	-	-	2	-	2
1979	-	-	3	-	3
1978	-	-	4	-	4
Total Geral	255	411	752	20	1.438

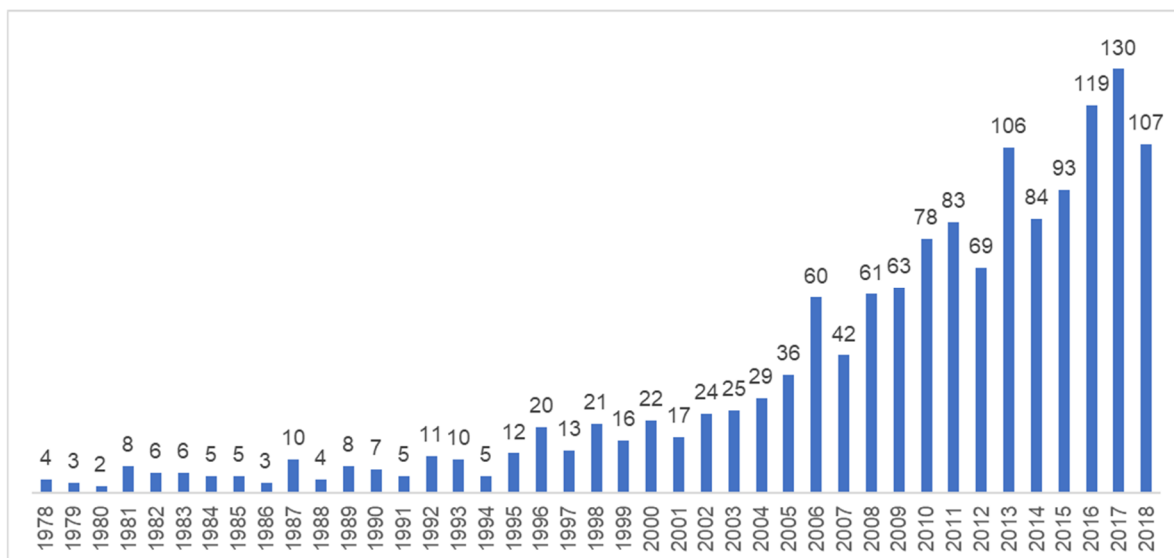
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No período anterior ao ano de 1978 não foram identificadas publicações que tratassem da temática de análise de eficiência econômica ou de custos, visto que, a técnica utilizada para as análises foco desta pesquisa, a Análise Envoltória de Dados, tem início com os trabalhos seminais de Charnes et al., (1978) e Banker et al. (1984) com foco específico em análises de eficiência técnica (BANKER, CHARNES, COOPER, 1984; CHARNES; COOPER; RHODES, 1978; FØRSUND, 2017; PORTELA; THANASSOULIS, 2014b). O Gráfico 1 apresenta essa evolução.

Percebe-se que, os estudos que envolvem análise de eficiência econômica com DEA despertam o interesse acadêmico a partir dos anos 2000 na literatura de Gestão de Operações. Os dados apresentados corroboram com diferentes autores (COOPER et al., 2011; EMROUZNEJAD; YANG, 2018; GATTOUFI; ORAL; REISMAN, 2004; LIU

et al., 2013; ZHOU et al., 2018a) que destacam o crescente interesse acadêmico pelo tema da análise de produtividade e eficiência com a utilização da DEA.

Gráfico 1: Evolução anual de publicações sobre eficiência econômica com DEA



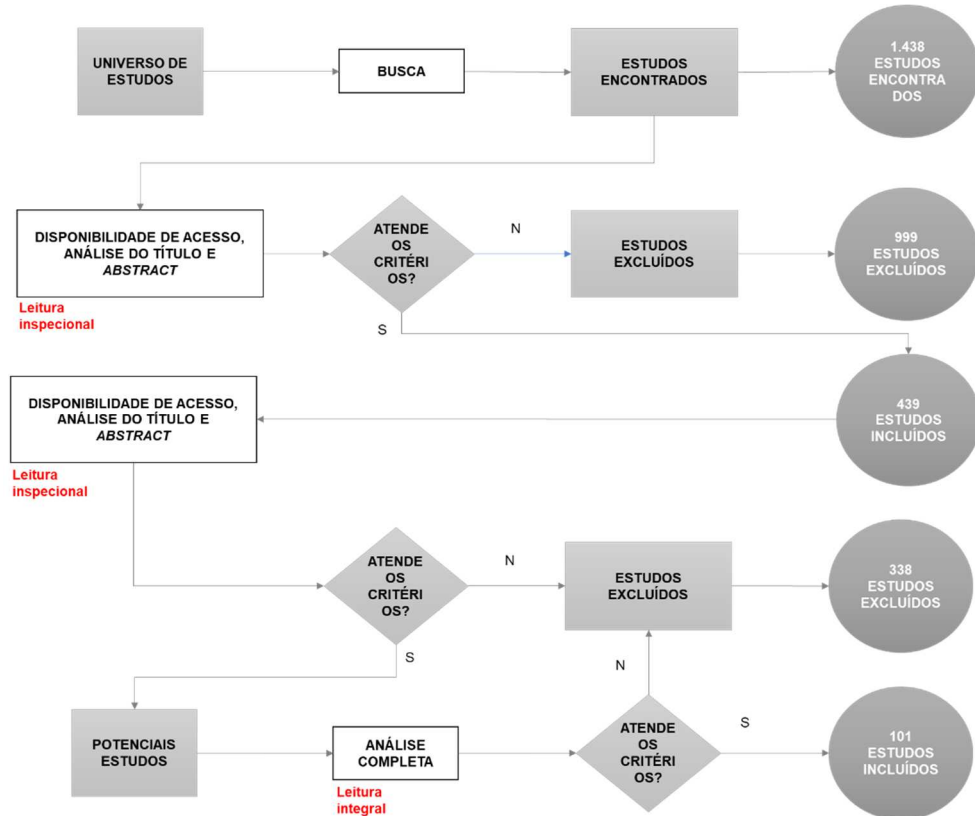
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A revisão sistemática de literatura pode ficar sujeita a viés em função do processo de seleção dos estudos. Logo, os critérios de inclusão e exclusão dos estudos foram definidos com base no escopo da revisão (MORANDI; CAMARGO, 2015). Os estudos selecionados para esta pesquisa tiveram os seguintes critérios de inclusão: i) trabalhos nos idiomas inglês e português; ii) trabalhos com possibilidade de acesso ao texto completo; iii) trabalhos que possuam as palavras-chave no seu conteúdo. Os critérios de exclusão foram os seguintes: i) trabalhos puramente teóricos; ii) revisões de literatura; iii) tipos de documentos como conferências, revisões de conferência e capítulos de livros; iv) subáreas como: ciência da computação, matemática, ciência dos materiais, ciências ambientais, finanças, energia e entre outras, e; v) modelagem matemática e simulação.

Concluída a fase inicial de análise do interesse acadêmico pelo tema, passou-se para a segunda fase que teve como propósito a identificação de pesquisas com a aplicação da Análise Envoltória de Dados para a análise de eficiência econômica em sistemas de manufatura. Esse processo ocorreu por meio de uma leitura inspeccional para selecionar a bibliografia aderente ao tema. A leitura inspeccional é um nível de leitura diagonal onde se realiza a pré-leitura do material com o intuito de verificar se o

mesmo deve ser lido de maneira integral (ADLER; DOREN, 2015). A Figura 2 apresenta o processo de elegibilidade dos estudos identificados.

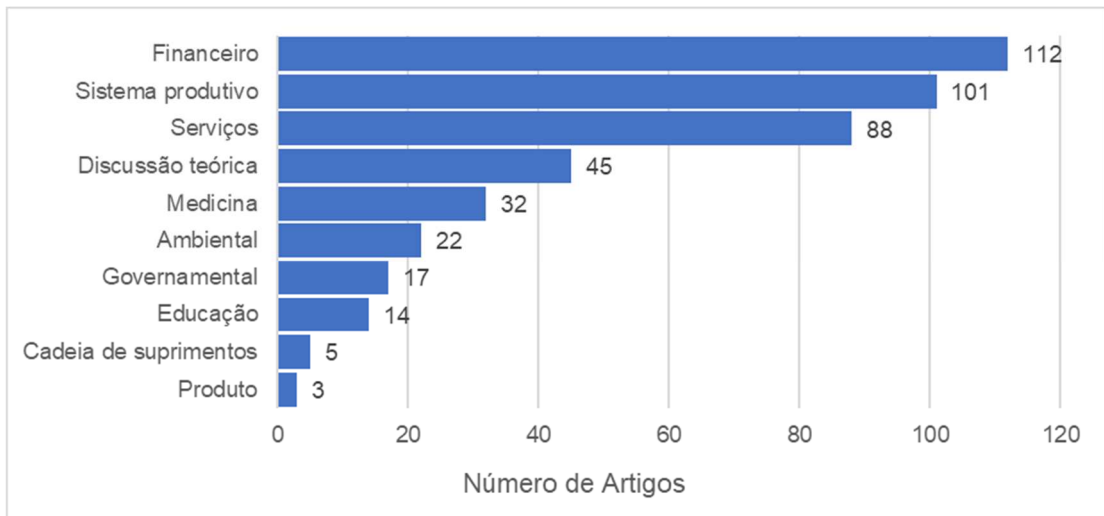
Figura 2: Busca e elegibilidade dos estudos identificado



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Morandi e Camargo (2015).

Inicialmente buscou-se avaliar os estudos que realizassem a análise de eficiência econômica com a aplicação da DEA e nesta etapa foram encontrados 439 estudos. O Gráfico 2 apresenta a distribuição setorial destes dos 439 trabalhos identificados. Destes, apenas 101 foram classificados como aplicação DEA para a análise de eficiência econômica em sistemas produtivos.

Gráfico 2: Setores de aplicação da DEA econômica identificados

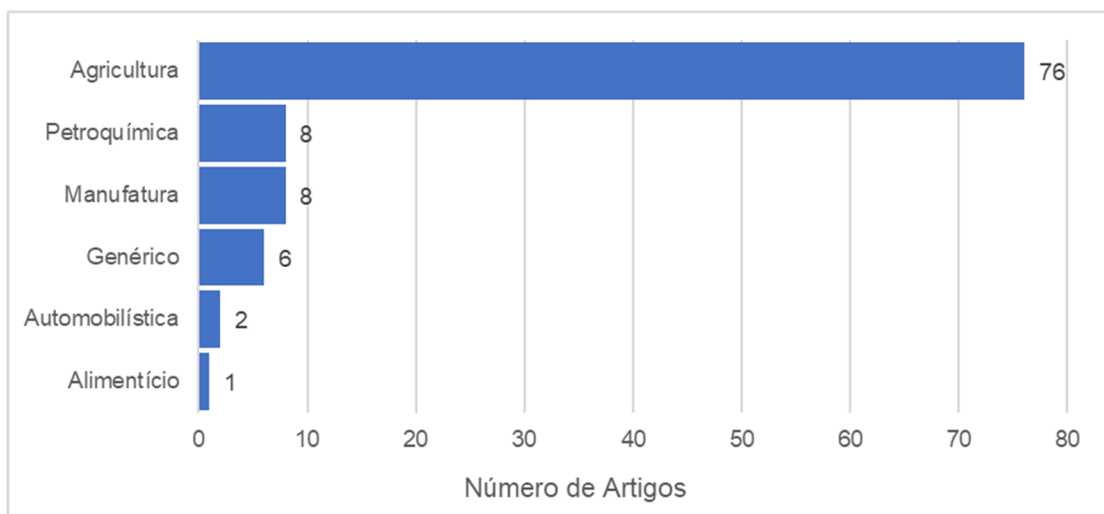


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Em seguida, os 101 trabalhos classificados como estudos relacionados a análise de eficiência econômica em sistemas produtivos, foram analisados. O objetivo desta etapa foi identificar os estudos que se assemelhavam a unidade de contexto pesquisada. Logo, o critério de inclusão utilizado foi o de trabalhos que realizam a análise de eficiência econômica em sistemas produtivos com a utilização da DEA.

Observa-se que, pela divisão dos setores de aplicação da análise de eficiência econômica, existem apenas oito trabalhos relacionados com a unidade de contexto, da qual refere-se ao setor de manufatura. O Gráfico 3 apresenta a distribuição dos setores de aplicação da DEA econômica nos trabalhos selecionados.

Gráfico 3: Setores de aplicação da DEA econômica nos trabalhos selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os dados desta segunda etapa da RSL corroboram com o estudo de Emrouznejad e Yang (2018), onde identificam o setor agrícola como sendo a principal área de aplicação da DEA. Evidencia-se também um reduzido volume de trabalhos que avaliem a eficiência econômica em sistemas de manufatura, que é sustentado pelos trabalhos de Blomberg e Josson (2011), Portela (2014), Hansson e Ohlmer (2008) e Kushwaha e Venkatesh (2017) onde apontam que, pela sensibilidade dos dados econômicos, a análise de eficiência técnica tem uma maior aplicação em relação a econômica. O Quadro 4 apresenta os estudos identificados em sistemas de manufatura por autor(es), ano, título da publicação e periódico, que serão analisados no próximo capítulo.

Quadro 4: Estudos identificados em sistemas de manufatura

Autor(es)/Ano	Título da Publicação	Periódico
(SILAMBARASAN; AZHAGIAH, 2018)	<i>Operating efficiency of small size acquired manufacturing firms in India</i>	<i>SCMS Journal of Indian Management</i>
(LOZANO; VILLA; EGUÍA, 2017)	<i>Data envelopment analysis with multiple modes of functioning. Application to reconfigurable manufacturing systems</i>	<i>International Journal of Production Research</i>
(DAS; PATEL, 2014)	<i>Cost efficiency of pharmaceutical firms manufacturing drugs for specific diseases prevalent in India: A data envelopment analysis approach</i>	<i>Journal of Medical Marketing: Device, Diagnostic and Pharmaceutical Marketing</i>
(BLOMBERG; JONSSON, 2011)	<i>Evaluating the efficiency of the global primary aluminum smelting industry: a data envelopment approach</i>	<i>Mineral Economics</i>
(HASSAN; ISIK; MAMUN, 2010)	<i>Trade liberalization and industry performance in Bangladesh</i>	<i>Journal of Policy Modeling</i>
(LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007)	<i>Economic efficiency analysis of wafer fabrication</i>	<i>IEEE Transactions on Automation Science and Engineering</i>
(RAY; SEIFORD; ZHU, 1998)	<i>Market entity behavior of Chinese state-owned enterprises</i>	<i>Omega</i>
(RAY; KIM, 1995)	<i>Cost efficiency in the United-States steel-industry - A nonparametric analysis using data envelopment analysis</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir da leitura em profundidade dos trabalhos relacionados com sistemas de manufatura abordados nesta RSL, não foram identificados estudos relacionados com a unidade de contexto deste estudo. Tal fato, apresenta-se como uma lacuna de estudo, visto que, os métodos de produção no setor calçadista não acompanharam as

evoluções tecnológicas identificadas em outros setores industriais (AKHTAR; ZAKIR; GHANI, 2008; AMBRÓZIO; FERREIRA; SOUSA, 2019).

Ambrózio, Ferreira e Sousa (2019) afirmam que o Brasil é caracterizado por uma proporção significativa de empresas que utilizam técnicas e processos organizacionais ineficientes e que se afasta da fronteira tecnologia de produção comparado aos países desenvolvidos. Logo, ao otimizar os recursos produtivos, por meio da análise de eficiência econômica com a aplicação da DEA, identificando o desempenho não somente do processo produtivo do calçado, mas do conjunto de fatores que compõem o sistema de manufatura, justifica a realização deste trabalho.

Com isso, este trabalho contribui ampliando os estudos de eficiência econômica em sistemas de manufatura ao estudar uma empresa do setor calçadista. Ambrózio, Ferreira e Sousa (2019) apontam que os reduzidos índices de eficiência ocorrem por uma inadequada tomada de decisão dos gestores, em que, a utilização de técnicas simples de gestão não ocorre, e que outras práticas vantajosas, porém mais sofisticadas, são desconhecidas, como o caso da Análise Envoltória de Dados (DEA). Nesse sentido, esta pesquisa avança em relação aos estudos anteriores neste setor ao propor a utilização da DEA para avaliar tanto a eficiência técnica quanto a eficiência econômica do sistema de manufatura dessas empresas.

Do ponto de vista teórico, tanto nacional quanto internacional, este estudo contribui para fortalecer a base teórica em estudos em eficiência econômica identificados na revisão da literatura realizada por Liu et al. (2016). A utilização da DEA para a medição de eficiência técnica e econômica é um avanço para o setor calçadista brasileiro e um aumento de bases de referências que estudem a eficiência em sistemas de manufatura do setor. Portanto, no âmbito dessa pesquisa, verificou-se um *gap* de trabalhos sobre o tema proposto e uma oportunidade de contribuir para a literatura.

A medição de eficiência é um indicador chave no controle e planejamento da performance produtiva das empresas (COOPER et al., 2011; MARIZ; ALMEIDA; ALOISE, 2017; SAHOO; TONE, 2009). Ambrózio, Ferreira e Sousa (2019) argumentam que analisar a ineficiência das empresas é particularmente relevante na economia brasileira. Nesse sentido, observa-se que as empresas de manufatura tem dificuldades em realizar análises de produtividade e eficiência que representem o desempenho como um todo e a sua complexidade (DE PARIS, 2016; DE SOUZA et al., 2018; PIRAN et al., 2016; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018).

A empresa estudada avalia a eficiência técnica por meio do OEE, ficando limitada a análises locais, em que, apenas com esse tipo de avaliação não é possível obter as informações necessárias em relação às fontes de ineficiências do processo de manufatura. Logo, com a proposta deste trabalho, será possível identificar fatores e elementos essenciais para a tomada de decisão e para a promoção da melhoria contínua no processo de manufatura, que não são contempladas pelo OEE, mas que precisam ser conhecidas pelas empresas, como as fontes de ineficiência técnica e alocativa na gestão dos recursos produtivos.

A partir deste estudo, será possível oferecer resultados empíricos, fornecendo subsídios aos gestores das empresas do segmento calçadista para promover ações que resultem em um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Essas ações dos gestores podem resultar em melhor desempenho das organizações para enfrentar o acirramento da competição do mercado interno calçadista brasileiro e, principalmente, para competir com o mercado externo.

Para as empresas que utilizam somente o OEE para mensuração de produtividade e eficiência, este trabalho oferece uma oportunidade para utilizar a DEA como medida de eficiência tanto técnica quanto econômica no processo de manufatura. Por um lado, ao utilizarem somente o OEE como medida de eficiência, as empresas não têm o conhecimento de como as decisões tomadas para aumentar ou manter o OEE impactam nos consumos dos recursos disponíveis. Por outro lado, ao tomarem decisões somente pelo viés econômico, as empresas podem prejudicar o resultado operacional. Utilizando o modelo DEA proposto por este trabalho essas empresas poderão conhecer as mudanças nas relações de entradas e saídas das suas operações produtivas, avaliar se elas foram provocadas pelas ações tomadas para beneficiar a eficiência OEE ou atender um quesito econômico como redução de preços dos insumos e avaliar se devem manter essas ações ou mudar a estratégia.

Para os gestores nas empresas, a importância deste trabalho está relacionada às informações sobre o consumo de cada insumo do processo de manufatura e a relação com o respectivo preço apresentadas pelo modelo DEA. Com os resultados da eficiência técnica e econômica medidos pela DEA os gestores poderão identificar a utilização dos recursos produtivos e seus desperdícios, alocar a mão-de-obra suficiente e medir o aproveitamento das matérias-primas consumidas em relação ao preço destas. Todas essas ações poderão ser tomadas pelos gestores com o intuito de reduzir os custos operacionais das empresas. Dessa forma, entende-se que este

trabalho é relevante contribuindo tanto para teoria no setor calçadista quanto para as empresas e gestores do setor. Na próxima seção será apresentada a estrutura do trabalho.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa está organizada em sete capítulos. O primeiro apresenta a contextualização do tema, aborda dados estatísticos da indústria calçadista e situa o referido setor na economia brasileira. A seção evidencia alguns aspectos relacionados a avaliação eficiência econômica, com o intuito de sustentar a questão de pesquisa. Nesse capítulo introdutório, são evidenciados o objeto de estudo e o problema de pesquisa, bem como o objetivo geral e os objetivos específicos, seguidos da relevância da pesquisa para os meios acadêmico e empresarial.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica envolvendo os principais conceitos de produtividade e eficiência, técnicas para análise de eficiência em sistemas produtivos, análise envoltória de dados (DEA), modelos de eficiência econômica e estudos relacionados mais relevantes para o objeto deste trabalho.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia da pesquisa, a qual está dividida em: delineamento da pesquisa, método de trabalho, coleta de dados, análise de dados e delimitações.

O quarto capítulo a empresa estudada é brevemente apresentada. No capítulo cinco, são realizadas as análises dos resultados do estudo de caso. O capítulo seis contempla a discussão dos resultados obtidos e busca evidenciar as contribuições da presente pesquisa sob o ponto de vista da teoria e sob a ótica da empresa. Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e as considerações finais do estudo, seguidas de sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico utilizado para a elaboração desta pesquisa. Inicialmente serão abordados os conceitos gerais sobre produtividade e eficiência e os principais métodos de cálculo da eficiência. Em seguida é apresentada a análise envoltória de dados (DEA). Por fim, é apresentado o tema foco deste estudo que é a eficiência econômica em sistemas de manufatura, os principais modelos de cálculo e, também é apresentada a análise descritiva dos trabalhos identificados.

2.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA

Neste tópico serão apresentados os conceitos gerais sobre produtividade e eficiência, as diferenças entre os dois conceitos e principalmente a importância de se realizar medições apropriadas para identificar a produtividade e a eficiência com que o sistema de manufatura converte insumos em produtos. 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).

2.1.1 Produtividade

No Brasil, a busca pela produtividade vem se tornando cada vez mais determinante para o sucesso nas empresas. O estudo e análise da produtividade traz uma série de benefícios, pois auxiliam as empresas a entregar soluções de qualidade com baixo preço, reduzir custos operacionais e entregas mais ágeis, promovendo assim uma maior competitividade das empresas com produtos e serviços de maior valor agregado (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018; REZENDE; MONTEIRO, 2008).

O conceito de produtividade se refere à capacidade de a empresa gerar saídas (*outputs*), como bens de consumo ou serviços, no seu processo de manufatura em considerando as entradas (*inputs*) em uma atividade econômica (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978; DIEWERT et al., 2007). Nesse sentido, a definição de produtividade passa a ter por base o valor adicionado pelo processo de manufatura

da empresa em certo período de tempo (YANG; ZHANG, 2018). Deste modo, os aumentos de produtividade podem ser entendidos como a melhor utilização dos recursos pela empresa (PIRAN, 2015).

Nesse contexto, para que uma empresa gere lucro e obtenha sucesso, a mesma deverá possuir elevados índices de produtividade (SILVA et al., 2017). Diante disso é preciso monitorar e analisar a maneira como são utilizados os recursos disponíveis para o processo de produção, a fim de que seja possível identificar oportunidades para a redução dos custos de produção possibilitando a oferta de produtos e serviços com preços mais competitivos.

Deste modo, a produtividade é a razão de uma produção total por um fator de entrada, por isso a medida da produtividade sempre estará relacionada com uma determinada entrada de cada vez (DE PARIS, 2016; SABONIENÉ; KARAZIJIENÉ, 2012). Entretanto, existem elementos fora do escopo da área de manufatura que implicam na produtividade e desempenho da empresa, como o preço e qualidade do produto ou serviço, volume de vendas, estoque de produtos acabados, qualidade dos processos de produção como retrabalhos, custo e qualidade de matérias primas, estoque de matérias primas e entre outros. De maneira geral, esses elementos não são levados em consideração em relação a análise de produtividade geral do sistema (DE PARIS, 2016; DE SOUZA et al., 2018; PIRAN et al., 2016, 2017).

A identificação dessa relação de fatores pode auxiliar os gestores na tomada de decisão. Logo, a produtividade é um índice fundamental para a estimativa da eficiência com a qual uma empresa opera e pode ajudar na decisão sobre como melhorar o seu desempenho atual ou introduzir novos métodos para aumentar a produção de bens de consumo ou serviços aos clientes. A próxima seção apresentará os conceitos de eficiência.

2.1.2 Eficiência

A eficiência das empresas, segundo Farrell (1957), está relacionada com a maneira com que as mesmas poderiam estar utilizando seus recursos (*inputs*) nos seus processos de manufatura transformando-os em bens de consumo ou serviços (*outputs*) de maneira a detectar a utilização dos mesmo em relação à produção que se poderia obter destes em fábrica. Alinhado à esta ideia, Tupy e Yamaguchi (1998), apontam que a eficiência é uma comparação entre os índices obtidos em uma unidade

produtiva e os índices considerados ótimos para essa mesma unidade e para carteira de produtos avaliados. Portanto, segundo Cummins e Weis (2013), uma empresa torna-se tecnicamente eficiente quando utilizar um nível mínimo de insumos para a obtenção de determinado nível de produtos. Desta forma, a eficiência também pode ser definida como a relação da capacidade real pela capacidade efetiva, definindo capacidade real como a capacidade observada em um período de tempo pré-determinado e a capacidade efetiva como a máxima capacidade apresentada pelo sistema, considerando paradas programadas, intervalos entre turnos, entre outros. (SLACK et al., 1997; STEVENSON, 1996; SHAFER&MEREDITH, 1998; MARKLAND et al., 1998).

Posto isto, a eficiência de uma empresa ou unidade de tomada de decisão (*Decision Making Unit – DMU*) pode ser entendida como um elemento que avalia se essa empresa combina seus insumos e produtos de maneira adequada para obter a máxima produtividade possível. O cálculo de eficiência é um valor entre zero e um, podendo ser expresso em termos percentuais (COELLI et al., 2008). Pode-se também calcular dois tipos de eficiência: i) a eficiência absoluta e a ii) eficiência relativa. De um lado, na eficiência absoluta, a produtividade máxima é um valor teórico e inatingível, ou seja, ideal. A eficiência relativa propõe que, a produtividade máxima é a produtividade da concorrente mais eficiente dessa DMU. Caso a eficiência de uma DMU seja igual a um, significa que essa unidade é eficiente e se for menor que um, significa que a unidade é ineficiente (ZHU, 2009)

Portanto, a identificação da eficiência de cada unidade de análise permite o conhecimento de quais dessas unidades tem a melhor eficiência e podem ser utilizadas como *benchmarking* para as demais (LU et al., 2016). Deste modo, a empresa obtém importantes informações sobre como o processo de manufatura está convertendo os insumos em produtos e pode analisar os desvios identificados, propondo ações para a melhoria.

A eficiência também pode ser definida em termos de eficiência técnica, que reflete o sucesso de uma empresa em gerar o máximo de produtos a partir de um conjunto dado de insumos (FERREIRA; GOMES, 2009) podendo ser tanto analisada pela perspectiva de minimização ou conservação desses recursos, quanto pela expansão dos resultados (SILVA PORTELA, 2014). A eficiência também pode ser definida em termos de eficiência alocativa, quando se refere a proporção adequada na utilização dos recursos dados os seus respectivos preços (FERREIRA; GOMES,

2009). Nesse sentido, a eficiência alocativa pode ser interpretada como a razão entre o custo de produção para determinado resultado pelo custo mínimo necessário de produção deste (SILVA PORTELA; THANASSOULIS, 2014).

Combinadas, essas duas medidas de eficiências formam a eficiência econômica ou eficiência de custos (CUMMINS; XIE, 2013; FERREIRA; GOMES, 2009; FRIED; LOVELL; SCHMIDT, 2008; HANSSON, 2008; KILIC; CEYHAN; ALKAN, 2009; SILVA PORTELA, 2014). A seguir será apresentado a análise de eficiência em sistemas de manufatura.

2.1.3 Métodos para Cálculo de Eficiência

Medir e analisar os índices de eficiência do processo de manufatura de uma empresa é vital para que esta tenha conhecimento de sua performance e possa aprimorar seus resultados mantendo-se competitiva ao reduzir custos e o *lead time* de produção, fatores estes decisivos no setor calçadista. Os primeiros cálculos para medições de eficiência foram apresentados no trabalho seminal de Farrel (1957), em que o autor do artigo "*The Measurement of Productive Efficiency*" buscou desenvolver melhores métodos para avaliação da produtividade envolvendo os conceitos de análise de atividades contidos nos trabalhos de Debreu (1951) e Koopmans (1951) (COOPER et al., 2011; ZHOU et al., 2018a).

Posteriormente, o trabalho de Farrell de 1957 foi adaptado por Banker, Charnes e Cooper (1978), pois segundo os autores, o trabalho limitava-se a utilizar um único produto e não atendia os requisitos necessários quando aplicado a vultuosos volumes de dados e múltiplos produtos (COOPER et al., 2011). Os estudos de Cooper também partiram dos estudos de Debreu e de Koopmans, de 1951, e buscaram obter uma medida simples para calcular a eficiência de uma unidade tomadora de decisão que utiliza vários insumos (FERREIRA; GOMES, 2009).

Para Coelli et al. (2005), as técnicas para cálculo e análise da eficiência podem ser classificadas quanto à natureza dos dados e quanto ao método. Quanto à natureza dos dados, podem ser paramétricas ou não paramétricas. Quanto ao método, podem ser enquadradas como de fronteira e não fronteira (COELLI et al., 2005; MARQUES; SILVA, 2006).

Os métodos paramétricos têm relação com a mensuração dos dados, consideram algum tipo de estimação sobre a fronteira ou função de produção e

geralmente utilizam uma escala de intervalo ou de razão a partir de parâmetros que partem de pressupostos para testar a amostra em análise (COELLI et al., 2005; HACKMAN, 2008; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018) o que possibilita a medição do erro, mas introduzem a dificuldade adicional de conhecer a especificação associada ao comportamento admitido (COELLI, 1998; MARQUES; SILVA, 2006). Os métodos estatísticos paramétricos supõem, ainda, uma relação funcional e de correlação entre a produção e os insumos (COELLI et al., 2005). Nesse sentido, quando os parâmetros violam os pressupostos da amostra, ou seja, quando a exigência em relação aos dados utilizados na análise é menor, são utilizados os métodos não paramétricos (COOPER et al., 2011; GREGORIOU; GULTEK; DEMIRER, 2017) pois estes não requerem um conhecimento a priori da fronteira ou função de produção (SINGH; MOTWANI; KUMAR, 2000).

Gregoriou et al. (2017) e Zhu (2005) definem o termo fronteira, utilizado na análise de eficiência, como uma superfície formada pelas unidades de análise eficientes, em qualquer relação *input output*, em que nenhuma unidade de análise da amostra consegue transpor (COOK; TONE; ZHU, 2014; GREGORIOU; GULTEK; DEMIRER, 2017). Os métodos de fronteira e não fronteira divergem essencialmente na afirmação da definição de eficiência (GILSA, 2012). Os métodos de não fronteira pressupõem que se conheça a priori a eficiência máxima, 1 ou (100%), assim a eficiência é definida e atingida por uma unidade de análise se, e somente se, nenhum de seus insumos possa ser reduzido sem que se reduza também os seus produtos ou ainda que seus produtos não possam aumentar sem que se aumente também seus insumos (COELLI et al., 2005; GILSA, 2012; NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005; PIRAN, 2015; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018; SOUZA, 2014).

Para os métodos de fronteira, a eficiência máxima é atingida quando uma ou mais unidades de análise obtém desempenho superior às demais unidades. Além disso, consideram que os desempenhos das outras unidades não demonstram que os insumos ou produtos da unidade de análise eficiente possam ser melhorados (COELLI et al., 2005; FERREIRA; GOMES, 2009; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). As principais técnicas de cálculo de eficiência e produtividade são apresentadas no Quadro 5.

Dentre as técnicas para avaliação da produtividade e eficiência pode-se destacar a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) que utiliza programação linear para construção de uma fronteira ou função de produção não

paramétrica para cálculo de eficiência relativa de unidades de tomada de decisão (COELLI, 1996; FERREIRA; GOMES, 2009; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Para efetuar a análise da eficiência proposta neste trabalho, utiliza-se a técnica da análise envoltória de dados (DEA).

Quadro 5: Técnicas para cálculo de eficiência em sistemas produtivos

Técnica	Natureza	Método
Análise Envoltória de Dados (DEA)	Não Paramétrico	Fronteira
Índice de Laspeyres	Paramétrico	Não Fronteira
Índice de Paasche	Paramétrico	Não Fronteira
Índice de Fischer	Paramétrico	Não Fronteira
Índice de Törnqvist	Paramétrico	Não Fronteira
Índice de Malmquist	Paramétrico	Não Fronteira
Processo de Análise Hierárquica (AHP)	Não Paramétrico	Não Fronteira
Mínimos Quadrados Ordinais (OLS)	Paramétrico	Não Fronteira
Mínimos Quadrados Ordinais Corrigidos (COLS)	Paramétrico	Fronteira
Análise de Fronteira Estocástica (SFA)	Paramétrico	Fronteira
The Frontier Approach (TFA)	Paramétrico	Fronteira
Distribution Free Approach (DFA)	Paramétrico	Fronteira
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	Não Paramétrico	Não Fronteira

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Piran, Lacerda e Camargo (2018) e Gilsa (2014).

A DEA tem-se demonstrado uma eficiente técnica para identificar as melhores práticas e melhorar a produtividade nas organizações (ZERVOPOULOS; PALASKAS, 2011). Para Ferreira e Gomes (2009), a DEA proporciona cálculos de eficiência técnica para a melhor utilização dos insumos, a eficiência de escala, que serve para medir o nível de produção do sistema em análise e a eficiência alocativa, que busca identificar as DMUs que tem o menor custo e maior receita, aos preços de mercado, medidas que são indispensáveis para a competitividade do setor calçadista (FERREIRA; GOMES, 2009).

Além disso, existem particularidades que tornam a DEA bastante operacional, como por exemplo: em que as relações entre múltiplas entradas e saídas podem ser transformadas em um único índice de eficiência, há possibilidade de identificar economias de insumos ou aumento de produção para as DMUs que são ineficientes se projetarem em direção às eficientes por meio de uma análise de sensibilidade das variáveis do modelo (COOPER et al., 2011; FERREIRA; GOMES, 2009; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Em relação aos *inputs* e *outputs* nenhuma suposição é feita, sendo esta característica umas das principais vantagens de se utilizar a DEA para medição de eficiência em sistemas de manufatura (CAMANHO; DYSON, 2008). Deste modo, as entradas e saídas que serão utilizadas no modelo DEA não tem

necessidade de obedecer a um padrão de unidades de medida iguais (FERREIRA; GOMES, 2009).

Nesse sentido, a DEA pode ser considerada como um método de natureza determinística, visto que, não requer qualquer suposição quanto a fronteira de produção e a distribuição da amostra. Assim, todos os desvios da fronteira de eficiência são considerados sob o controle da empresa, e por isso atribuídos como ineficiência. Portela e Thanassoulis (2014) e Ferreira e Gomes (2009), apontam que a DEA pode ser utilizada como ferramenta de apoio à decisão aos gestores para a mensuração do desempenho em organizações orientadas pela eficiência. Além disso, no contexto acadêmico, percebe-se que a análise envoltória de dados é amplamente aceita e está sendo constantemente desenvolvida por pesquisadores das mais diversas linhas de pesquisa (COOPER et al., 2011; WU et al., 2014). Na seção 2.2 serão apresentados os conceitos relativos à análise envoltória de dados (DEA).

2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

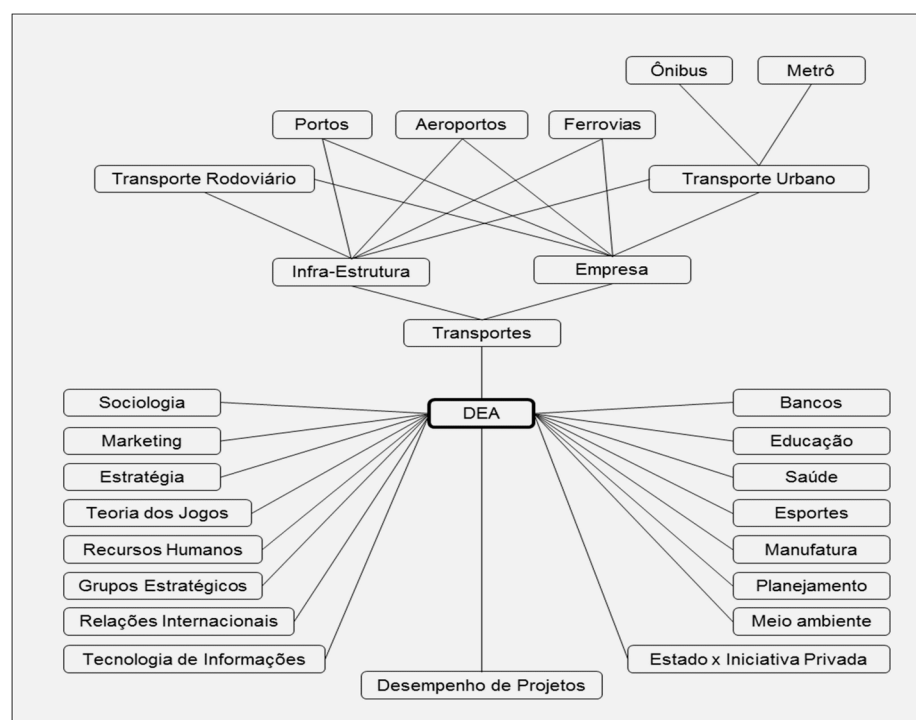
Desde sua criação em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes, a Análise Envoltória de Dados tem ganhado popularidade no meio acadêmico como uma conveniente ferramenta para estimar a eficiência de empresas caracterizadas pela utilização de múltiplas entradas e múltiplas saídas (SAHOO; MEHDILOOZAD; TONE, 2014). A DEA é uma técnica amplamente reconhecida por sua habilidade de lidar com a complexidade das relações que envolvem os múltiplos recursos utilizados e as múltiplas saídas geradas que, em muitas vezes, tem natureza desconhecida. (COOPER et al., 2011)

O principal objetivo da DEA consiste em comparar um certo número de DMUs que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de entradas que consomem e de saídas que produzem, identificando as unidades de maior eficiência e que formam a fronteira ou função de produção (COOK; TONE; ZHU, 2014). Neste caso, a eficiência máxima é atingida quando uma ou mais unidades de análise obtém desempenho superior às demais (FERREIRA; GOMES, 2009)

A Análise Envoltória de Dados se destaca dentre as técnicas de medição de produtividade e eficiência por não exigir pressupostos a priori quanto a fronteira ou função de produção e os pesos utilizados no cálculo de eficiência (ALDAMAK; ZOLFAGHARI, 2017). Essa característica torna a técnica largamente utilizada nos

mais diversos setores como de energia (MARQUES et al., 2017; MULLARKEY et al., 2015), bancos e instituições financeiras (KUTLAR; KABASAKAL; EKICI, 2017; PORTELA; THANASSOULIS, 2007), telecomunicações (COOPER; PARK; YU, 2001), logística e cadeia de suprimentos (AGRELL; HATAMI-MARBINI, 2011; YU; WANG; HO, 2016), saúde (BÜCHNER; HINZ; SCHREYÖGG, 2016; WANG et al., 2016), educação (BURNEY et al., 2013; MAYSTON, 2017), transportes (BARROS; DIEKE, 2008; ROETS; VERSCHELDE; CHRISTIAENS, 2018), setor público (FØRSUND, 2017), esportes (ANDERSON; SHARP, 1997; COOPER; RUIZ; SIRVENT, 2009), agricultura (HASHMI; KAMRAN; BASHIR, 2016; SOUZA; GOMES, 2015), manufatura (JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; PIRAN et al., 2017; SILAMBARASAN; AZHAGAIAH, 2018), e entre outros (LIU; LU; LU, 2016), a Figura 3 apresenta as áreas de aplicação da DEA com base no trabalho de Paiva Junior (2000).

Figura 3: Áreas de aplicação da DEA



Fonte: Adaptado de Paiva Junior (2000).

A DEA busca calcular eficiência relativa de cada DMU e é definida como a razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*) (MARQUES, 2015; PIRAN, 2015; SENRA et al., 2007; SOUZA, 2014). Sendo que a definição deste método parte da Eficiência Pareto-Koopmans, em que uma organização é completamente eficiente se, e somente se,

não é possível aumentar nenhum insumo ou produto sem diminuir algum outro insumo ou produto (COOPER et al., 2011).

Outro aspecto sobre a análise envoltória de dados é que a DEA possibilita medir o nível de eficiência de unidades fora da fronteira eficiente para compará-las com as unidades que estão na fronteira de eficiência (LU et al., 2016; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). A comparação entre diferentes unidades de análise é definida como *benchmarking*.

O processo de *benchmarking* serve para avaliar produtos, serviços e práticas em relação aos melhores competidores, ou a empresas reconhecidas como líderes em seus setores. Desta maneira, o *benchmarking* compara o desempenho de organizações, produtos, processos e serviços de maneira contínua com o propósito de buscar parâmetros para estabelecer metas de melhoria organizacional (MARQUES, 2015; PIRAN, 2015; SOUZA, 2014). Souza (2014) sinaliza quatro tipos de *benchmarking* utilizados por empresas: *benchmarking* interno, *benchmarking* concorrente externo, *benchmarking* funcional e *benchmarking* genérico (MARQUES, 2015; PIRAN, 2015).

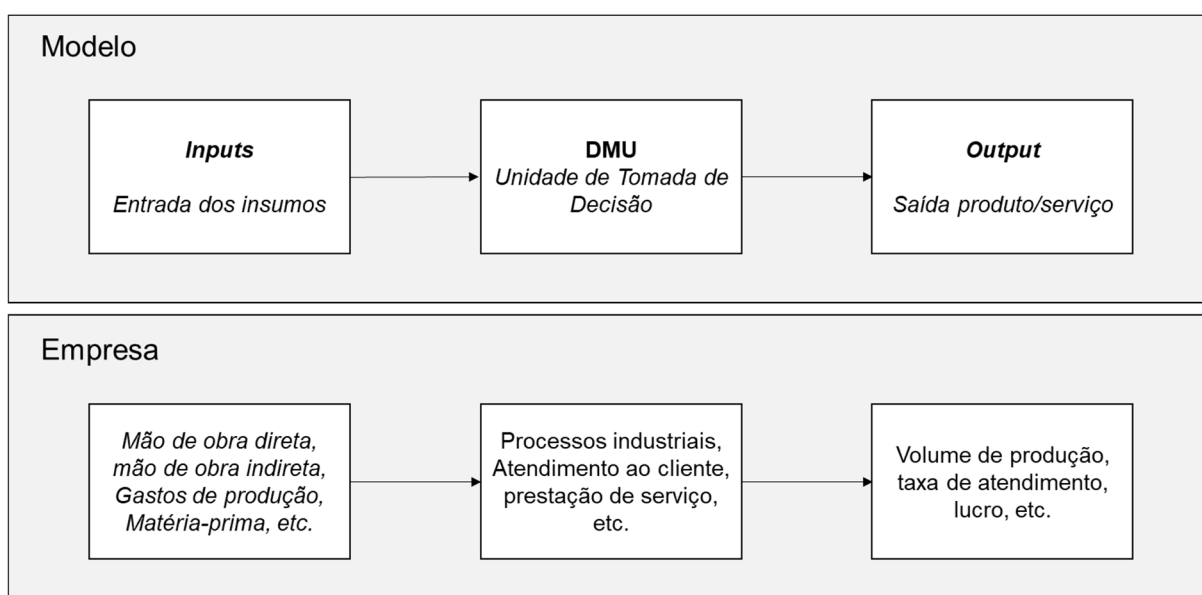
A comparação do desempenho de unidades ou departamentos dentro de uma organização é tido como *benchmarking* interno. O desempenho da própria empresa com o desempenho de seus concorrentes é considerado como *benchmarking* concorrente externo. O *benchmarking* funcional compara a empresa com as melhores organizações que operam no setor. O *benchmarking* genérico compara a empresa com as melhores organizações sem levar em conta o setor (MARQUES, 2015; PIRAN, 2015; SOUZA, 2014).

Nesta pesquisa será utilizado o *benchmarking* interno. O *benchmarking* interno executado a partir da DEA permite avaliar se uma determinada DMU está próxima ou não da DMU de maior eficiência, isso quer dizer, da DMU que se encontra na fronteira eficiente formada pela amostra. Essa avaliação é útil quando são comparadas diversas DMUs de um mesmo grupo ou processo. As DMUs de maior destaque podem fornecer informações importantes que possibilitam direcionar ações para melhoria das DMUs ineficientes (FERREIRA; GOMES, 2009; KILIC; CEYHAN; ALKAN, 2009; PIRAN, 2015; SOUZA, 2014).

Quanto ao termo DMU, este pode ser definido como um projeto, um produto, um departamento, setores produtivos ou processos, uma divisão, uma unidade administrativa, ou então, qualquer item cuja eficiência está sendo avaliada. Logo, as

DMUs são consideradas unidades de análise essenciais para uso da análise envoltória de dados (PIRAN, 2015; SOUZA, 2014). A Figura 4 mostra a associação entre a DMU (unidade de tomada de decisão) e os *inputs* e *outputs* utilizados na análise envoltória de dados (DEA).

Figura 4: Relação entre *input*, DMU e *output* – DEA



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Piran (2015) e Souza (2014).

A DEA foi inicialmente aplicada em um estudo empírico desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1981) em escolas públicas dos Estados Unidos (COOPER et al., 2011). Nesse estudo, os autores objetivavam utilizar a DEA para minimizar os *inputs* e maximizar os *outputs*, ou seja, reduzir os recursos empregados nas entradas e aumentar o número de produtos obtidos nas saídas, melhorando a eficiência, o modelo utilizado pelos autores teve como base o modelo original proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e ajustado por Charnes, Cooper e Rhodes (1979) (COOK; TONE; ZHU, 2014; PIRAN, 2015).

Ferreira e Gomes (2009) destacam que, para a utilização da técnica de análise envoltória de dados, três pontos são cruciais: i) definição e seleção das unidades de análise (DMUs); ii) escolha e orientação do modelo; e, iii) a seleção das variáveis a serem consideradas no modelo. Nesse sentido, a escolha entre minimizar os *inputs* ou maximizar os *outputs* é determinada pela orientação do modelo escolhido. Quando se objetiva manter as saídas constantes (por exemplo, o volume de produção de determinado produto) e verificar o melhor aproveitamento dos insumos utilizados no processo (por exemplo, matérias-primas), o modelo deve ser orientado à entrada

(*input*). No entanto, se o objetivo é manter os consumos dos recursos constantes (por exemplo, matérias-primas) e maximizar as saídas (por exemplo, o volume de produção de determinado item), o modelo deve ser orientado à saída (*output*) (COOK; TONE; ZHU, 2014; COOPER et al., 2011; TONE; SAHOO, 2005).

Na seleção das variáveis que irão compor o modelo é preciso atentar para algumas premissas, tais como: i) abranger a maior gama possível de recursos utilizados no serviço em análise; ii) captar todos os níveis de atividades e o máximo possível de medidas de desempenho; iii) definir um conjunto de variáveis comuns a todas as unidades de análise, e; iv) considerar variáveis ambientais se for aplicável (BANKER; JANAKIRAMAN; NATARAJAN, 2004; CAMANHO; DYSON, 2008; COOPER et al., 2011; CHARNES; COOPER; RHODES, 1978; COOPER, WILLIAM W. SEIFORD, LAWRENCE M. TONE, 2007; COOPER et al., 2011)

Cook, Tone e Zhu (2014) sinalizam que a elevada quantidade de entradas e saídas em comparação ao número de DMUs tende a diminuir o poder do cálculo da eficiência na DEA. Neste contexto, não é possível distinguir DMUs eficientes e ineficientes (COOPER et al., 2011), deste modo, recomenda-se que a quantidade de DMUs deva ser três vezes maior que a soma dos *inputs* e *outputs* do modelo (FERREIRA; GOMES, 2009). Assim, é possível aumentar o poder discriminatório das DMUs eficientes. Assim, na medida em que o número de variáveis vai aumentando (*inputs* e *outputs*) para um grupo de DMUs, aumenta também a possibilidade de mais DMUs atingirem a fronteira de eficiência (DE SOUZA et al., 2018; GILSA, 2012; MARQUES, 2015; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018; SOUZA, 2014).

Lampe e Hilgers (2015) revelam que a DEA está fortemente conectada a área de Gestão de Operações. O estudo desses autores apresentou um levantamento das citações sobre eficiência entre os anos 1980 e 2010, sendo o propósito listar os autores dos artigos mais citados sobre DEA. Quadro 6 apresenta o *ranking* dos autores com maior número de citações.

Quadro 6: Artigos mais citados sobre DEA

Rank	Autores	Ano
1	Banker et al.	1984
2	Andersen and Petersen,	1993
3	Berger and Humphrey	1997
4	Charnes et al.	1981
5	Charnes et al.	1985

Rank	Autores	Ano
6	Simar and Wilson	1998
7	Banker	1984
8	Seiford	1996
9	Simar and Wilson	2007
10	Banker	1993
11	Doyle and Green	1994
12	Dyson and Thanassoulis	1988
13	Banker and Thrall	1992
14	Charnes et al.	1989
15	Tone	2001
16	Banker and Morey	1986
17	Boussofiane et al.	1991
18	Banker et al.	1986
19	Allen et al.	1997
20	Deng et al.	2000

Fonte: Adaptado de Lampe e Hilgers (2015).

Liu et al. (2016) ampliam o estudo de Lampe e Hilgers (2015) e confirmam que a análise envoltória de dados é amplamente aceita no campo acadêmico e que vem sendo constantemente desenvolvida por pesquisadores. Os autores (LIU et al., 2016) identificaram os principais trabalhos que contribuíram para evolução da DEA, estendendo a lista dos principais autores identificados por Lampe e Hilgers (2015). O Quadro 7 apresenta os principais trabalhos identificados sobre DEA:

Quadro 7: Principais trabalhos sobre a DEA

Autor (es) / Ano	Título da publicação	Periódico
(CHARNES; COOPER; RHODES, 1978)	<i>Measuring the efficiency of decision making units</i>	<i>European journal of operational research</i>
(CHARNES; COOPER; RHODES, 1979)	<i>Measuring the efficiency of decision making units</i>	<i>European journal of operational research</i>
(CHARNES; COOPER; RHODES, 1981)	<i>Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through.</i>	<i>Management science</i>
(BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, 1984)	<i>Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis</i>	<i>Management science</i>
(CHARNES et al., 1985)	<i>Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions</i>	<i>Journal of econometrics</i>
(CHARNES; COOPER; R.M. THARALL, 1986)	<i>Classifying and characterizing efficiencies and inefficiencies in data development analysis</i>	<i>Operations Research Letters</i>

Autor (es) / Ano	Título da publicação	Periódico
(SEIFORD; THRALL, 1990)	<i>Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis</i>	<i>Journal of econometrics</i>
(THOMPSON et al., 1990)	<i>The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming</i>	<i>Journal of econometrics</i>
(ANDERSEN; PETERSEN, 1993)	<i>A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis</i>	<i>Management science</i>
(ANTREAS D. ATHANASSOPOULOS; BALLANTINE, 1995)	<i>Ratio and frontier analysis for assessing corporate performance: evidence from the grocery industry in the UK</i>	<i>Journal of the Operational Research Society</i>
(ATHANASSOPOULOS, 1995)	<i>Performance improvement decision aid systems (PIDAS) in retailing organizations using data envelopment analysis</i>	<i>Journal of Productivity Analysis</i>
(LAWRENCE M. SEIFORD, 1996)	<i>Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978–1995)</i>	<i>Journal of Productivity Analysis</i>
(KNEIP; PARK; SIMAR, 1998)	<i>A note on the convergence of nonparametric DEA estimators for production efficiency scores</i>	<i>Econometric theory</i>
(SIMAR; WILSON, 1999)	<i>Some problems with the Ferrier/Hirschberg bootstrap idea</i>	<i>Journal of Productivity Analysis</i>
(SIMAR; WILSON, 2008)	<i>Statistical inference in nonparametric frontier models: The state of the art</i>	<i>Journal of productivity analysis</i>
(FRIED et al., 2002)	<i>Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis</i>	<i>Journal of productivity Analysis</i>
(SIMAR; WILSON, 2007)	<i>Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes</i>	<i>Journal of econometrics</i>
(BANKER; NATARAJAN, 2008)	<i>Evaluating contextual variables affecting productivity using data envelopment analysis</i>	<i>Operations research</i>
(MCDONALD, 2009)	<i>Using least squares and tobit in second stage DEA efficiency analyses</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>

Fonte: Elaborado com base em Liu et al. (2016).

Como esperado, o estudo seminal é a pesquisa de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), pois o artigo estabelece as bases da DEA. Posteriormente, Charnes, Cooper e Rhodes (1979) escreveram uma nota de uma página modificando as restrições da formulação principal do artigo de 1978. No artigo seguinte, Charnes, Cooper e Rhodes (1981) avaliaram programas de educação pública nos Estados Unidos. O artigo de Banker, Charnes e Cooper (1984) propôs o modelo retorno variável de escala. Charnes et al. (1985) apresentam um modelo aditivo e estabelecem a ligação da DEA com a teoria da produção por meio da análise de capacidades de Pareto-Koopmans. Charnes, Cooper e Thrall (1986) caracterizam e classificam as eficiências e ineficiências na DEA.

Trabalhos posteriores evoluíram na discussão sobre a DEA (ANDERSEN; PETERSEN, 1993; FRIED et al., 2002; KNEIP; PARK; SIMAR, 1998; SEIFORD, 1996; SIMAR; WILSON, 1999; THOMPSON et al., 1990), exemplificando aplicações no ramo agrícola (THOMPSON et al., 1990) e no varejo (ATHANASSOPOULOS; BALLANTINE, 1995; ATHANASSOPOULOS, 1995).

Alguns autores (BANKER; CHANG; NATARAJAN, 2007; MCDONALD, 2009; SIMAR; WILSON, 2007) fornecem uma base estatística para a abordagem de análise de duas fases. Ao contrário da abordagem em uma fase, a abordagem de duas fases consiste em, na fase um, utilizar a DEA não paramétrica para calcular a eficiência pela qual a saída é produzida a partir de entradas físicas. Na fase 2, utiliza-se regressão linear para relacionar as influências nas pontuações dos fatores de eficiência observados (MCDONALD, 2009).

Os modelos mais utilizados na DEA são: modelo retorno constante de escala (CRS) e modelo retorno variável de escala (VRS). Esses modelos estão sendo aplicados em diversos contextos industriais e não industriais (bancos, hospitais, educação, etc) (EMROUZNEJAD; YANG, 2018). O modelo CRS é apresentado na seção 2.2.1, e o modelo VRS na seção 2.2.2.

2.2.1 Modelo Retorno Constante de Escala (CCR - CRS)

O modelo desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propõe uma abordagem orientada a entradas (*inputs*) para medir a eficiência, definido como modelo CRS (*Constant Returns of Scale*) (COOPER et al., 2011; LIU et al., 2013). No modelo CRS existe uma função de produção linear. O modelo de retorno constante de escala assume que qualquer variação nos inputs implica uma variação proporcional no output e é uma generalização do trabalho de Farrel (1957), para múltiplos insumos e múltiplos produtos. A inclinação da reta representa essa função de produção que determina os rendimentos constantes de escala. (COOK; TONE; ZHU, 2014; FERREIRA; GOMES, 2009). Para Mariano et al. (2006) e Souza (2014), o modelo CRS pode ser ilustrado pelas Equações (1), (2) e (3):

$$Max_{PO} = \frac{\sum_{n=1}^m u_n y_{io}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}}$$

(1)

Sujeito a:

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

$$u_i \text{ e } v_j > 0 \quad (3)$$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i

v_j = peso calculado para o *input* j

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

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

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

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

z = número de unidades em avaliação

m = número de *outputs*

n = número de *inputs*

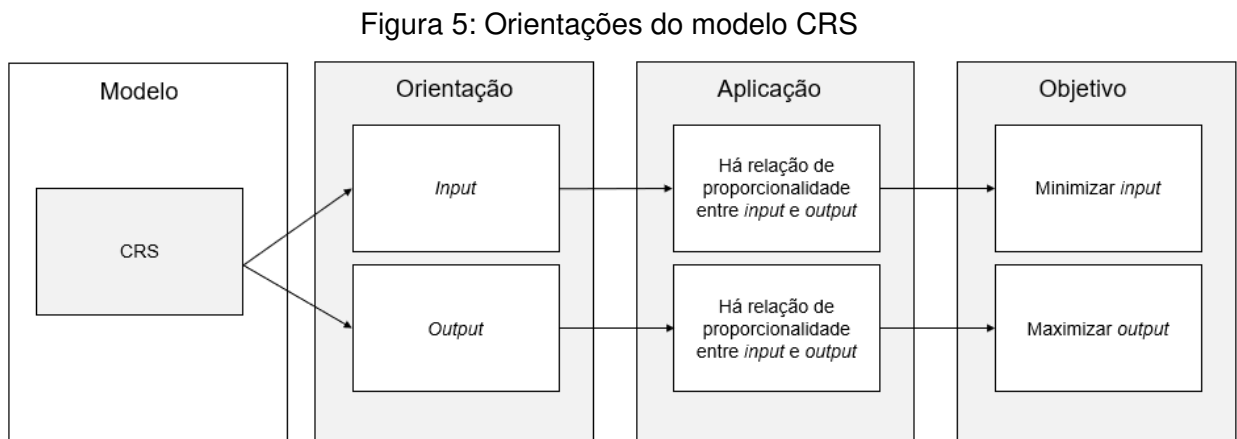
A equação (1) representa a função objetivo (FO) do modelo de programação matemática que deve ser maximizada. A equação (2) representa o conjunto de restrições (uma para cada DMU, inclusive para aquela que está sendo avaliada) que tem o objetivo de limitar a produtividade de todas as DMUs a 1. Essa restrição é muito importante porque a produtividade de uma DMU teoricamente pode assumir qualquer valor (ela é ilimitada) e, se não fosse essa restrição, não seria possível maximizar a função objetivo (COOK; TONE; ZHU, 2014)

Após a resolução do modelo matemático, é possível verificar a eficiência da DMU analisada. Se o resultado da função objetivo for igual a 1, a DMU é eficiente, pois nenhuma restrição limitou seu valor e sua produtividade atingiu o valor máximo. Por outro lado, se o resultado for menor que 1, a DMU é ineficiente, pois mesmo com as utilidades que maximizam sua produtividade existem DMU's mais produtivas. (MARIANO et al., 2006). Essas DMUs que limitam a função objetivo servem de *benchmarking* (referência) da DMU analisada, que serão modelos para que a DMU ineficiente se torne eficiente (MARIANO et al., 2006).

Os modelos CRS podem ser orientados para *inputs* ou *outputs*. Os modelos orientados para *inputs* têm como objetivo identificar quais DMUs consumiram os

menores níveis de *inputs*, mantendo os mesmos níveis de *outputs*. Nesses casos, o objetivo do modelo é minimizar as entradas e manter as saídas constantes. Os modelos orientados para *outputs* têm como objetivo identificar quais DMUs obtiveram os melhores resultados quanto aos seus *outputs*, mantendo constantes os seus *inputs*. Desta forma, os modelos com a orientação para *outputs* objetivam maximizar as saídas e manter constantes as entradas de um sistema produtivo (COOK; TONE; ZHU, 2014; ZHU, 2014).

O modelo CRS e as orientações para *input* e *output* são apresentados pela Figura 6. O modelo CRS deve ser utilizado quando existe proporcionalidade entre as variáveis (*inputs* e *outputs*) das DMU's que estão sendo analisadas. Nesse sentido, pode-se exemplificar a utilização do modelo CRS para um *benchmark* interno, no qual as variáveis das DMU's definidas possuem amplitude semelhante entre si. Quanto à orientação, deve-se defini-la para *input* quando o objetivo é minimizar as entradas e manter as saídas constantes. O modelo com orientação para *output* objetiva maximizar as saídas e manter as entradas constantes (COOK; TONE; ZHU, 2014). A Figura 5 sintetiza as orientações do modelo CRS.



Fonte: Adaptado de Souza (2014).

Nesse sentido, Cook, Tone e Zhu (2014) descrevem as equações do CRS com a orientação para *input*:

$$Max_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{io}}{1} = \sum_{i=1}^m u_i y_{io}$$

Sujeito a:

(4)

$$\sum_{j=1}^n v_j x_{jo} = 1 \quad (5)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 = \sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (6)$$

$$u_i = v_j > 0 \quad (7)$$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i

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

v_j = peso calculado para o *input* j

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

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

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

z = número de unidades em avaliação

m = número de *outputs*

n = número de *inputs*

Cook, Tone e Zhu (2014) descrevem as equações do CRS com a orientação para *output*:

$$Max_{PO} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jo}} = Min_{FO} = \sum_{j=1}^n v_j x_{jo} \quad (8)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{io} = 1 \quad (9)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 = \sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (10)$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0 \quad (11)$$

Onde:

v_j = peso calculado para o *input* j

x_{jo} = quantidade do *input* j para unidade em análise
 u_i = peso calculado para o *output* i
 y_{io} = quantidade do *output* i para unidade em análise
 y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor
 x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor
 z = número de unidades em avaliação
 m = número de *outputs*
 n = número de *inputs*

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

2.2.2 Modelo Retorno Variável de Escala (BCC - VRS)

Banker, Charnes e Cooper (1984) propõem o modelo retorno variável de escala, conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*). No VRS, Banker, Charnes e Cooper (1984) argumentam que uma DMU não pode ser comparada com todas as DMUs de um determinado setor, mas com as DMUs que operam em escala semelhante à sua.

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, em que um aumento nos *inputs* provoca um aumento proporcionalmente menor nos *outputs*. O segundo tipo seria o modelo com retorno crescente de escala, em que um aumento nos *outputs* é proporcionalmente maior ao aumento nos *inputs* (COOK; TONE; ZHU, 2014; FERREIRA; GOMES, 2009). O modelo VRS é representado pelas equações (12), (13) e (14):

$$Max_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{io} + u}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jo}} \text{ ou } Max_{PO} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{io}}{\sum_{i=1}^m u_i y_{io} + v} \quad (12)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{ik} + u}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 \text{ ou } \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk} + v} \leq \text{para } k = 1, 2 \dots z \quad (13)$$

u_i e $v_j > 0$; u e v sem restrição de sinal

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i

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

v_j = peso calculado para o *input* j

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

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

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

u = variável de retorno de escala

v = variável de retorno de escala do denominador

z = número de unidades em avaliação

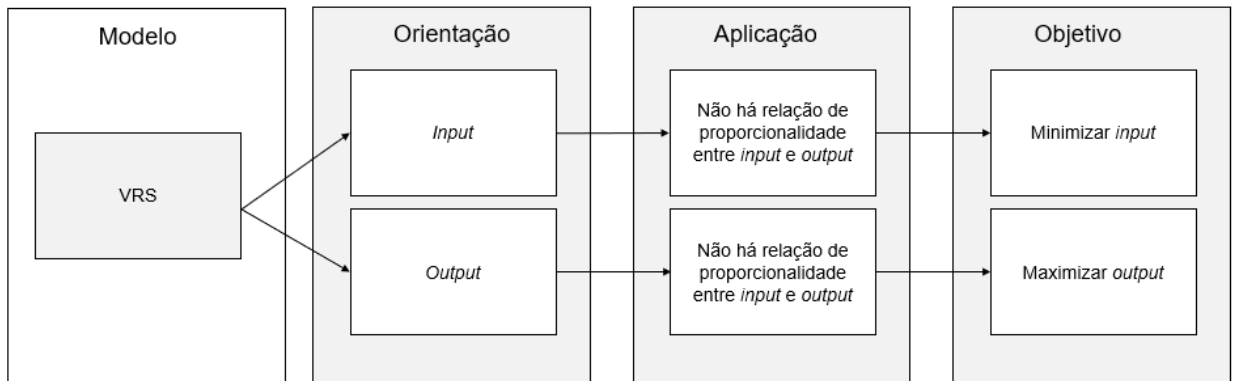
m = número de *outputs*

n = número de *inputs*

Para Mariano et al. (2006), as variáveis u e v possuem a função de garantir que as restrições das DMU's que operam em escala diferente da DMU em análise não limitem sua função objetivo. Lins e Meza (2000) indicam que a inclusão das variáveis u e v servem para definir a combinação linear convexa no modelo VRS. Com essa variável é possível avaliar o retorno de escala em que a DMU está operando. 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 crescentes à escala; e se o valor for igual a zero, considera-se que a DMU opera com retornos constantes à escala (COOK; TONE; ZHU, 2014; FERREIRA; GOMES, 2009). A variável v também pode ser utilizada para estimar o tipo de escala de uma DMU, porém deve ser interpretada de maneira oposta ao u , ou seja: caso v maiores que zero, os retornos serão crescentes; se v for igual a zero, os retornos serão constantes; e caso v for menor que zero, os retornos serão decrescentes. Os retornos de escala não são necessariamente iguais para as duas orientações (COOK; TONE; ZHU, 2014).

A Figura 6 ilustra o modelo VRS e as orientações para *input* e *output*. O modelo VRS deve ser utilizado quando não existe proporcionalidade entre as variáveis (*inputs* e *outputs*) das DMU's que estão sendo analisadas. Nesse sentido, pode-se exemplificar a utilização do modelo VRS para um *benchmarking* externo, em que as DMUs definidas (podem ser diferentes empresas) não possuem amplitude semelhante entre si (por exemplo, uma pequena empresa comparada a uma empresa de porte).

Figura 6: Orientações do modelo VRS



Fonte: Adaptado de Souza (2014).

Quanto à orientação, deve-se defini-la para *input* quando o objetivo é minimizar as entradas e manter as saídas constantes. O modelo com orientação para *output* objetiva maximizar as saídas e manter as entradas constantes (COOK; TONE; ZHU, 2014).

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 Eslami e Khoveyni (2013), o modelo VRS orientado a *input* é representado pelas equações (15), (16), (17) e (18):

$$\text{Max} = \sum_{i=1}^m u_i y_{io} + u \quad (15)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{ik} + u - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n v_j x_{jo} = 1 \quad (17)$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0; u \text{ e } v \text{ sem restrição de sinal, } i = 1, \dots, n \quad (18)$$

Onde:

u_i = peso calculado para o *output* i
 y_{io} = quantidade do *output* i para unidade em análise
 y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor
 v_j = peso calculado para o *input* j
 x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor
 x_{jo} = quantidade do *input* j 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*

Para Eslami e Khoveyni (2013), o modelo VRS orientado a *output* é representado pelas equações (19), (20), (21) e (22):

$$Max = \sum_{j=1}^n v_j x_{jo} + v \quad (19)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - v - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2 \dots z \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^m u_i y_{io} = 1 \quad (21)$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0; u \text{ e } v \text{ sem restrição de sinal, } i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (22)$$

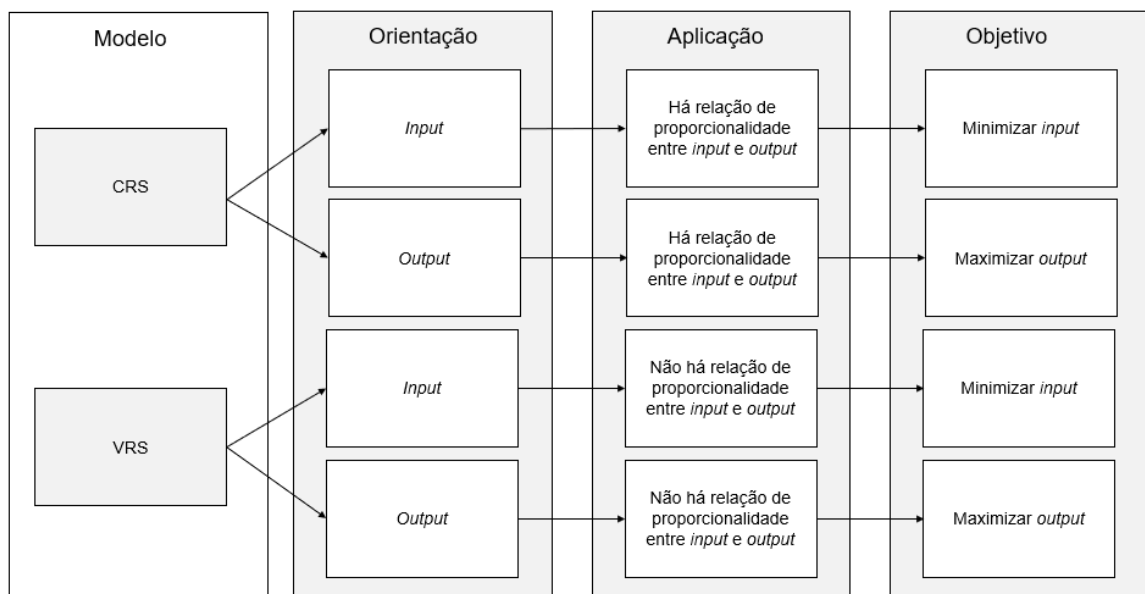
Onde:

v_j = peso calculado para o *input* j
 x_{jo} = quantidade do *input* j para unidade em análise
 u_i = peso calculado para o *output* i
 y_{ik} = quantidade do *output* i para unidade k de um determinado setor
 x_{jk} = quantidade do *input* j para unidade k de um determinado setor
 y_{io} = 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*

Nesse modelo não há a relação de proporcionalidade entre os *inputs* e *outputs*, ou seja, não é considerada que a relação existente de eficiência seja mantida linear de zero a infinito e sim alterações nos *inputs* ou *outputs* da curva no decorrer do tempo. A Figura 7 apresenta um resumo das técnicas tradicionais de análise envoltória de dados, suas orientações, aplicações e objetivos.

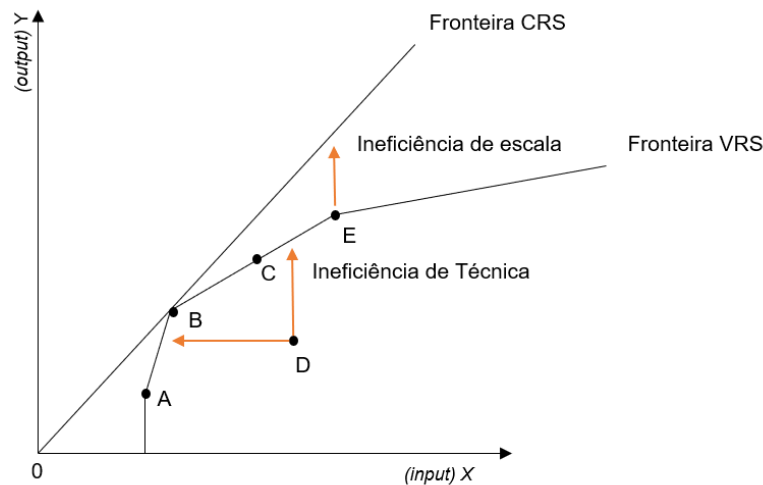
Figura 7: Aplicações dos modelos DEA



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Gilsa (2012).

O Gráfico 4 ilustra a relação hipotética da fronteira de eficiência dos modelos VRS e CRS. Também é exibido a eficiência de escala, representada no gráfico pela distância das unidades eficientes do modelo com retornos variáveis de escala (VRS) para a linha da fronteira com retornos constantes de escala (CRS).

Gráfico 4: Fronteira VRS e CRS



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Ferreira e Gomes (2009, p. 124).

Após a apresentação dos modelos CRS e VRS, discutem-se os conceitos referentes aos tipos de eficiência que são calculados pela técnica da análise envoltória de dados.

2.2.3 Tipos de Eficiência Calculadas em DEA

A técnica DEA permite o cálculo de diferentes tipos de eficiência, a saber: i) eficiência padrão; ii) fronteira invertida; iii) eficiência composta; iv) eficiência composta* (normalizada); v) eficiência alocativa e; vi) eficiência de custos/econômica. Os conceitos relativos a cada tipo de eficiência são descritos no Quadro 8:

Quadro 8: Tipos de eficiência calculados em DEA

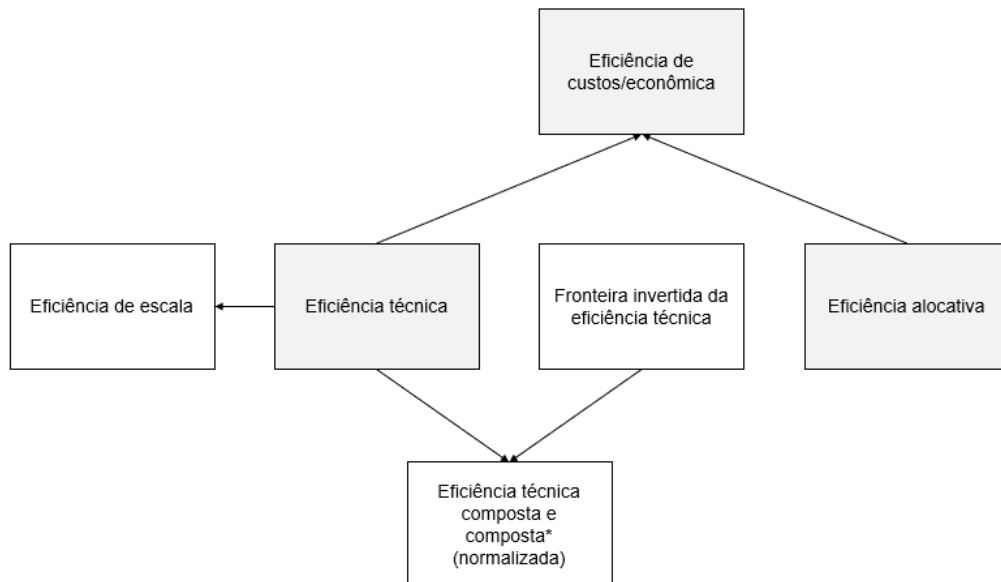
Eficiência	Descrição
Eficiência Padrão	Constituída pelas unidades eficientes, ou seja, pelas DMUs com os melhores desempenhos, que executam as melhores práticas
Fronteira Invertida	Constituída pelas unidades ineficientes, ou seja, pelas DMUs com os piores desempenhos, que não executam as melhores práticas
Eficiência Composta	Constituída por um índice agregado entre eficiência padrão e fronteira invertida. Para que uma DMU tenha eficiência máxima, é necessário que obtenha elevado escore na eficiência padrão e reduzido escore na fronteira invertida
Eficiência Composta*	Constituída pela normalização do escore de eficiência da DMU com melhor desempenho na eficiência composta. Nesse caso, essa DMU é considerada 100% eficiente e os demais escores de eficiência são normalizados sucessivamente
Eficiência de Escala	Consiste no volume ou a escala de produção mais produtiva, ou seja, quando a produção atinge um nível no qual prevalecem rendimentos constantes
Eficiência Alocativa	Constituída pela combinação ou proporção ou na maior receita possível, sendo conhecidos os preços dos insumos ou dos produtos
Eficiência Econômica	Constituída pelo produto das eficiências padrão e alocativa, podendo ser calculada pela eficiência de custos, ou seja, minimização dos custos dos insumos, eficiência de receita, ou seja, conhecendo os preços dos produtos é possível maximizar a

Eficiência	Descrição
	receita e eficiência de lucro, ou seja, consiste em quantidades adequadas de produtos e insumos que maximizem o lucro e reduzam custo.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Souza (2014) e Ferreira e Gomes (2009).

A partir do cálculo da eficiência técnica (padrão), torna-se possível calcular a fronteira invertida da eficiência técnica e a eficiência técnica composta e composta* (normalizada). Com a informação dos preços dos insumos e/ou produtos, é possível calcular a eficiência alocativa e de custos/econômica (PORTELA; THANASSOULIS, 2014a). Destaca-se que o cálculo destas eficiências técnicas (invertida, composta e composta*) é possível nos modelos CRS e VRS. A relação entre os tipos de eficiência calculados em DEA são apresentados na Figura 8.

Figura 8: Relação entre os tipos de eficiência calculados em DEA



Fonte: Adaptado de Piran, Lacerda e Camargo (2018) e Ferreira e Gomes (2009).

Após a abordagem dos tipos de eficiência calculados em DEA, são apresentados os conceitos referentes aos alvos e folgas para as DMUs. Os alvos e folgas são os valores que permitem tornar uma DMU ineficiente em uma DMU eficiente.

2.2.4 Alvos e Folgas

Os modelos de análise envoltória de dados permitem o cálculo dos alvos e folgas, que são os valores de referência que devem ser visados pelas DMU's ineficientes para cada *input* ou *output* (GILSA, 2012). Nesse caso, os valores alvo

elevariam a eficiência da DMU ao valor um (SOUZA, 2014), podendo fornecer indicativos de recursos que estão sendo subutilizados no processo em análise. Para calcular o alvo (Equação 23) para uma determinada DMU é necessário realizar o produto da posição atual de um insumo pelo valor (λ) pertencente à DMU de referência, ou seja, *benchmarking* (SOUZA, 2014).

$$\sum_{k=1}^n X_{ik} \lambda_k \quad (23)$$

Onde:

X_{ik} = quantidade do *input* i para unidade k de um determinado setor

λ_k = contribuição da unidade k na formação do alvo/folga da DMU

Na próxima seção são relacionados os modelos de eficiência econômica com o uso da análise envoltória de dados (DEA) e que podem servir de apoio no processo de modelagem da presente pesquisa.

2.2.5 Eficiência Econômica

O estudo seminal de Farrell (1957) propôs que a eficiência econômica fosse dividida em dois componentes: i) eficiência técnica, e; ii) eficiência alocativa. O componente técnico relaciona-se com quantidades e volumes de *inputs* e *outputs*, enquanto com que o componente alocativo tem relação aos preços desses mesmos *inputs* e *outputs*. Um aspecto importante na análise de eficiência econômica, é a medida de suas eficiências de custo, lucro e receita (FARREL, 1957; SAHOO; MEHDILOOZAD; TONE, 2014).

A eficiência de custos (EC) avalia a habilidade de uma DMU produzir certa quantidade de *outputs* ao mínimo custo, dados os respectivos preços dos *inputs* (CAMANHO; DYSON, 2008; PORTELA; THANASSOULIS, 2014a). A eficiência de receita (ER) avalia como a DMU pode obter uma quantidade adequada de produtos que maximizem a receita (FERREIRA; GOMES, 2009; SILAMBARASAN; AZHAGAI AH, 2018). A eficiência de lucro (EL) objetiva otimizar o resultado da DMU

ao minimizar a utilização dos *inputs* e maximizar a produção de *outputs* (SAHOO; MEHDILOOZAD; TONE, 2014).

Sahoo, Mehdiloozad e Tone (2014) identificaram os principais estudos de eficiência econômica com a utilização da análise envoltória de dados e observaram que o método não paramétrico é amplamente aceito no campo acadêmico, sendo constantemente desenvolvido por pesquisadores. Liu, Lu e Lu (2016) identificaram as principais linhas de pesquisa em DEA e apontam oportunidades de estudos relacionados com a eficiência econômica. O Quadro 9 foi elaborado com base Sahoo, Mehdiloozad e Tone (2014) e ampliado com a contribuição de Liu, Lu e Lu (2016). Os estudos são apresentados por autor(es)/ano, título e periódico de publicação e estão sintetizados abaixo.

Quadro 9: Principais trabalhos sobre eficiência econômica em DEA

Autor (es) / Ano	Título da publicação	Periódico
(FARREL, 1957)	<i>The measurement of productive efficiency</i>	<i>Journal of the Royal Statistical Society</i>
(FÄRE; GROSSKOPF; LOVELL, 1985)	<i>The Measurement of Efficiency of Production</i>	<i>Studies in Productivity Analysis</i>
(RAY; KIM, 1995)	<i>Cost efficiency in the US steel industry: A nonparametric analysis using data envelopment analysis</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(COOPER; THOMPSON; THRALL, 1996)	<i>Introduction: Extensions and new developments in DEA</i>	<i>Annals of Operations Research</i>
(SCHAFFNIT; ROSEN; PARADI, 1997)	<i>Best practice analysis of bank branches: An application of DEA in a large Canadian bank</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(SUEYOSHI, 1997)	<i>Measuring efficiencies and returns to scale of Nippon telegraph & telephone in production and cost analyses</i>	<i>Management Science</i>
(PUIG-JUNOY, 2000)	<i>Partitioning input cost efficiency into its allocative and technical components: an empirical DEA application to hospitals</i>	<i>Socio-Economic Planning Sciences</i>
(KUOSMANEN; POST, 2001)	<i>Measuring economic efficiency with incomplete price information: With an application to European commercial banks</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(TONE, 2002)	<i>A Strange case of the cost and allocative efficiencies in DEA</i>	<i>Journal of the Operational Research Society</i>
(BEASLEY, 2003)	<i>Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(KUOSMANEN; POST, 2003)	<i>Measuring economic efficiency with incomplete price information</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(MANIADAKIS; THANASSOULIS, 2004)	<i>A cost Malmquist productivity index</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>

Autor (es) / Ano	Título da publicação	Periódico
(TONE; SAHOO, 2005)	<i>Evaluating cost efficiency and returns to scale in the life insurance corporation of India using data envelopment analysis.</i>	<i>Socio-Economic Planning Sciences</i>
(CAMANHO; DYSON, 2005)	<i>Cost efficiency measurement with price uncertainty: A DEA application to bank branch assessments</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(PORTELA; THANASSOULIS, 2005)	<i>Profitability of a sample of Portuguese bank branches and its decomposition into technical and allocative components</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(KUOSMANEN; CHERCHYE; SIIPIÄINEN, 2006)	<i>The law of one price in data envelopment analysis: Restricting weight flexibility across firms</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(TONE; SAHOO, 2006)	<i>Re-examining scale elasticity in DEA</i>	<i>Annals of Operations Research</i>
(SENGUPTA; SAHOO, 2006)	<i>Efficiency models in data envelopment analysis: Techniques of evaluation of productivity of firms in a growing economy</i>	<i>Palgrave Macmillan</i>
(JAHANSHAHLOO; SOLEIMANI-DAMANEH; MOSTAFAEI, 2008)	<i>A simplified version of the DEA cost efficiency model</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(CAMANHO; DYSON, 2008)	<i>A Generalisation of the Farrell cost efficiency measure applicable to non-fully competitive settings.</i>	<i>Omega-International Journal of Management</i>
(MOSTAFAEI; SALJOOGHI, 2010)	<i>Cost efficiency measures in data envelopment analysis with data uncertainty.</i>	<i>European Journal of Operational Research</i>
(SAHOO; KERSTENS; TONE, 2012)	<i>Returns to growth in a nonparametric DEA approach</i>	<i>International Transactions In operational Research</i>
(SILVA PORTELA; THANASSOULIS, 2014)	<i>Economic efficiency when prices are not fixed: disentangling quantity and price efficiency</i>	<i>Omega-International Journal of Management</i>
(TOLOO, 2016)	<i>A Cost Efficiency Approach for Strategic Vendor Selection Problem under Certain Input Prices Assumption</i>	<i>Measurement</i>
(FØRSUND, 2017)	<i>Economic interpretations of DEA</i>	<i>Socio-Economic Planning Sciences</i>

Fonte: Adaptado com base em Sahoo, Mehdiloozad e Tone (2014) e Liu, Lu e Lu (2016).

Com base na investigação de Sahoo, Mehdiloozad e Tone (2014) e Liu, Lu e Lu (2016) é possível cruzar as informações dos periódicos com ano de publicação e observar os estudos distribuídos ao longo do tempo. A Tabela 4 apresenta o resultado desse cruzamento.

Com o resultado apresentado na Tabela 4, observa-se que o principal periódico para os estudos em eficiência econômica é o *European Journal of Operational Research* (EJOR). O EJOR é uma revista conceituada no meio acadêmico, bem-sucedida e reconhecida pela qualidade de suas publicações. O foco do EJOR é promover a discussão com trabalhos que contribuam para o conhecimento em metodologia de Pesquisa Operacional (PO) e para a prática de tomada de decisão.

Tabela 4: Publicações anuais por periódico

Ano	Annals of Operations Research	European Journal of Operational Research	International Transactions In operational Research	Journal of the Operational Research Society	Journal of the Royal Statistical Society	Management Science	Measurement	Omega-International Journal of Management	Palgrave Macmillan	Socio-Economic Planning Sciences	Studies in productivity Analysis	Total
1957	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
1995	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1996	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1997	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
2001	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2002	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
2003	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
2004	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2005	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3
2006	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3
2008	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2
2010	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2012	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2014	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
2016	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Total	2	11	1	1	1	1	1	2	1	3	1	25

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Sahoo, Mehdiloozad e Tone (2014) e Liu, Lu e Lu (2016) consideram 25 artigos como os principais trabalhos publicados sobre eficiência econômica a partir da DEA ao longo dos anos. O principal, como esperado, é o trabalho seminal de Farrel (1957), que avança embasado Koopmans (1951, 1957) e Debreu (1951), sendo o primeiro pesquisador a decompor a eficiência econômica em eficiência técnica e eficiência alocativa (FÄRE; GROSSKOPF; LOVELL, 1985).

Posteriormente, Färe, Grosskopf e Lovell (1985) desenvolvem um método empírico para análises de eficiência em DEA para cálculo da eficiência de custos/econômica e de receita. Com esta contribuição, outros estudos avançam em análises de eficiência econômica com a utilização da DEA nos mais diversos setores, como ambiental (DE JAEGER et al., 2011; GUERRINI et al., 2017; SARRA; MAZZOCCHITTI; RAPPOSELLI, 2017), agrícola (ASGHAR et al., 2018; BIYE;

LAWAL; JONGUR, 2018; HASHMI; KAMRAN; BASHIR, 2016; ZULFIQAR; DATTA; THAPA, 2017), financeiro (AKEEM; MOSES, 2014; HASSAN; JREISAT, 2016; RAY, 2016; SHI et al., 2017), educação (ABRAMO; D'ANGELO, 2009; HAELERMANS; RUGGIERO, 2013; SARKAR, 2017; THANASSOULIS et al., 2018), cadeia de suprimentos (CHIZARI; FEHRESTI-SANI, 2018; WONG et al., 2007; ZHOU et al., 2018b) e entre outros.

Trabalhos posteriores evoluíram na discussão sobre DEA econômica concentrando-se em estudos de lucro e eficiência de custos. A maioria dos estudos neste grupo propõe métodos ou modelos para lidar com várias situações de medição de lucro e eficiência de custos, incluindo preço nos cenários mais e menos favoráveis (CAMANHO; DYSON, 2005), a lei de um preço (KUOSMANEN; CHERCHYE; SIPILÄINEN, 2006), informação de preço incompleta (KUOSMANEN; POST, 2001; MOSTAFAEI; SALJOOGHI, 2010), preço dependendo da negociação de mercado (CAMANHO; DYSON, 2008; TOLOO, 2016) e quando os preços não são fixos (PORTELA; THANASSOULIS, 2014a).

Os modelos utilizados pela DEA econômica são: modelo de eficiência de custos (EC), modelo de eficiência de receita (ER) e modelo de eficiência de lucro (EL). Esses modelos estão sendo aplicados em diversos contextos industriais e não industriais (bancos, hospitais, educação, etc.) (SAHOO; MEHDILOOZAD; TONE, 2014). O modelo EE é apresentado na seção 2.2.5.1, o modelo ER é apresentado na seção 2.2.5.2 e o modelo EL é apresentado na seção 2.2.5.3.

2.2.5.1 Modelo de Eficiência de Custos (EC)

Tradicionalmente, a redução nos custos é prescrita em duas etapas em sequência: i) reduzir as quantidades de insumos proporcionalmente para atingir os níveis mínimos de entrada capazes de suportar as saídas, e; ii) mudar o mix de insumos para que, dados os preços vigentes, os custos dos insumos agregados sejam minimizados (PORTELA; THANASSOULIS, 2014a). A eficiência de custos indica até que ponto uma DMU minimiza o custo de produção de um determinado *output*, dados os preços dos *inputs* (THANASSOULIS; PORTELA; DESPI, 2008). Para Thanassoulis, Portela e Despi (2008) o modelo EC pode ser ilustrado pelas Equações 24, 25, 26 e 27.

$$\text{Min}_{\lambda_j, x_i} = \sum_{i=1}^m w_{io} x_i \quad (24)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s, \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (26)$$

$$\lambda \geq 0, \quad x_i \geq 0, \quad j = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m. \quad (27)$$

Onde para cada unidade de tomada de decisão (DMU) j ($j = 1, \dots, n$) existe um vetor $x_{ij} = (x_{i1}, \dots, x_{im})$ que reflete a quantidade de *inputs* utilizados para produzir dado vetor de s *outputs* $y_j = (y_{1j}, \dots, y_{sj})$ onde os preços dos *inputs* são dados pelo vetor $w_j = (w_{1j}, \dots, w_{mj})$. O modelo tradicional de eficiência de custo para DMU₀ é a solução do programa linear (24), onde grandezas de entrada, x_i , e as variáveis de intensidade, λ_j são as variáveis de decisão.

A decomposição de EC de Farrell (1957) consiste na multiplicação de três componentes:

$$\text{eficiência de custos (EC)} = \text{eficiência técnica (ET)} \times \text{eficiência alocativa (EA)} \quad (28)$$

Onde a eficiência de custos e a eficiência técnica são calculadas nas equações (24) e (8), respectivamente. A eficiência alocativa mede até que ponto o custo da DMU pode ser reduzido quando os insumos selecionados são mais adequados para a relação do preço do insumo enfrentado pela DMU em uma dada situação. Na próxima subseção é apresentado o modelo de eficiência de receita (ER).

2.2.5.2 Modelo de Eficiência de Receita (ER)

As medidas de eficiência orientadas para a receita são medidas relevantes de desempenho gerencial em situações nas quais os gerentes avaliam os *outputs* ao preço de mercado, enquanto os *inputs* foram predeterminados (THANASSOULIS; PORTELA; DESPI, 2008). O objetivo consiste em se obterem quantidades adequadas de produtos que maximizem a receita. O modelo de ER é demonstrado pelas Equações 29, 30, 31 e 32.

$$Max_{\lambda_j, y_r} = \sum_{i=1}^s p_{ro} y_r \quad (29)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_r, \quad r = 1, \dots, s, \quad (30)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (31)$$

$$\lambda \geq 0, \quad x_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m. \quad (32)$$

Onde para cada unidade de tomada de decisão (DMU) j ($j = 1, \dots, n$) existe um vetor $y_j = (y_{1j}, \dots, y_{mj})$ que reflete a quantidade de *outputs* produzidos para dado vetor de s *inputs* $x_j = (x_{1j}, \dots, x_{sj})$ onde os preços dos *outputs* são dados pelo vetor $p_j = (p_{1j}, \dots, p_{mj})$. Na próxima subseção é apresentado o modelo de eficiência de receita (ER).

2.2.5.3 Modelo de Eficiência de Lucro (EL)

O modelo de eficiência econômica que talvez tenha recebido menos atenção na literatura da DEA é o modelo de eficiência de lucro (possivelmente porque nos

estágios iniciais da literatura de DEA o método era visto como um para avaliar o desempenho de entidades sem fins lucrativos) (FUKUYAMA; WEBER, 2004; SENGUPTA; SAHOO, 2016).

No entanto, a análise de eficiência econômica com a DEA é aplicada em organizações com fins lucrativos, como no setor financeiro, onde o interesse em analisar a eficiência de lucro é evidente. A maximização do lucro implica que pelo menos alguns *inputs* e alguns *outputs* são variáveis endógenas (de escolha) (THANASSOULIS; PORTELA; DESPI, 2008). Se todos os *inputs* forem fixados exogenamente, o modelo de maximização de lucro (EF) se converte no modelo de eficiência de receita (ER). Da mesma forma, se todos os resultados forem exógenos, o lucro máximo resultaria da minimização do custo. Se, no entanto, alguns insumos e alguns produtos são endógenos, então o lucro máximo pode ser alcançado alterando-se adequadamente os níveis relativos de entrada e saída para explorar os preços disponíveis de *inputs* e *outputs*. O modelo necessário para determinar os níveis de entrada e saída que maximizam o lucro seria um "não-orientado", em contraste com os modelos orientados tradicionais, em que cada um dos insumos é minimizado mantendo as saídas relativamente estáveis ou o contrário (THANASSOULIS; PORTELA; DESPI, 2008). O modelo de EL é demonstrado pelas Equações 29, 30, 31 e 32.

$$Max_{\lambda_j, y_r, x_i} = \sum_{i=1}^s p_{ro} y_r - \sum_{i=1}^m w_{io} x_i \quad (29)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_r, \quad r = 1, \dots, s, \quad (30)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (31)$$

No caso de rendimentos variáveis, acrescentar $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$

(32)

No caso de rendimentos não crescentes, acrescentar $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$

(33)

No caso de rendimentos não decrescentes, acrescentar $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$

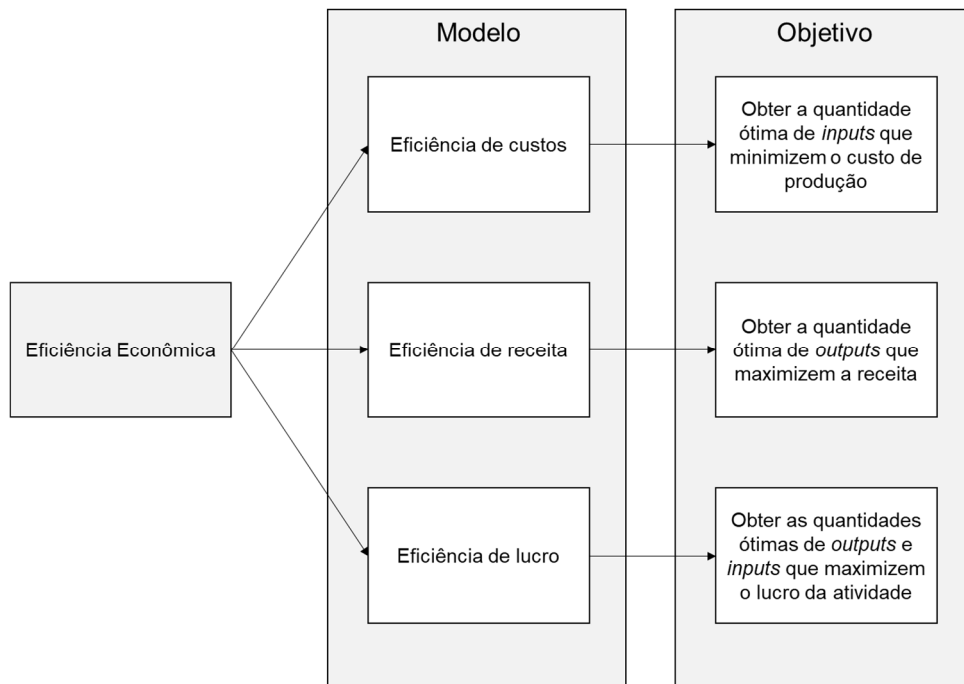
(34)

$\lambda \geq 0, \quad x_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m.$

(35)

Onde para cada unidade de tomada de decisão (DMU) j ($j = 1, \dots, n$) existe um vetor $y_j = (y_{1j}, \dots, y_{mj})$ que reflete a quantidade de *outputs* produzidos para dado vetor de s *inputs* $x_j = (x_{1j}, \dots, x_{sj})$ onde os preços dos *outputs* são dados pelo vetor $p_j = (p_{1j}, \dots, p_{mj})$.

Figura 9: Modelos de eficiência econômica



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Figura 9 sintetiza os três modelos apresentados nesta seção. Na próxima subseção são apresentados os estudos relacionados de eficiência econômica em sistemas de manufatura.

2.2.6 Estudos relacionados de eficiência econômica em sistemas de manufatura

Embora a DEA tenha ligação com a teoria de produção em economia, o método e seus modelos vêm sendo cada vez mais utilizados no campo da gestão de

operações (SAHOO; MEHDILOOZAD; TONE, 2014). Nesse sentido, Oliveira (2008) descreve três etapas básicas a serem cumpridas para aplicação da análise envoltória de dados (DEA): i) definição e seleção das unidades de análise (DMUs); ii) definição e seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*); e iii) escolha dos modelos de aplicação.

A etapa de elaboração do modelo DEA é um dos aspectos mais críticos em pesquisas que utilizam a análise envoltória de dados (DEA) como técnica para efetuar medições e análises (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Nesse sentido, entende-se que verificar na literatura e elencar as definições utilizadas em pesquisas anteriores pode servir de apoio para definir o modelo a ser usado na presente pesquisa.

Assim, para apoiar a definição do modelo da presente pesquisa, efetuou-se uma análise dos trabalhos identificados na RSL que se assemelham a unidade de contexto desta pesquisa para avaliar como os pesquisadores têm definido as etapas de modelagem e análise da eficiência econômica em sistemas de manufatura. Silambarasan e Azhagaiah (2018) investigaram a eficiência operacional de 16 empresas de manufatura, de pequeno porte, na Índia considerando o período de cinco anos antes da fusão (2004-2009) e cinco anos após a fusão (2010-2014). A pesquisa buscou avaliar apenas o resultado econômico e realizar um *benchmarking* externo comparando a eficiência antes e após a aquisição das unidades de negócio. O estudo não apresenta os índices de eficiência técnica e de eficiência alocativa para os cálculos da eficiência econômica e não apresentam os modelos utilizados. Não são apresentados os determinantes do melhor resultado após a aquisição das empresas em estudo e não é avaliada eficiência econômica dos sistemas de manufatura dessas empresas.

Lozano, Villa e Eguia (2017) propõem um método para o cálculo em sistemas de manufatura configuráveis onde a abordagem proposta não apenas gera economias de custo de insumos, mas também reduz o tempo de entrega. O trabalho foi direcionado para a avaliação e melhoria da eficiência técnica do sistema e cálculo de eficiência de custos das melhorias realizadas. O enfoque do estudo não é no processo de manufatura, e sim na otimização e simulação de opções de configuração de layout.

Das e Patel (2014) realizam um estudo comparativo entre empresas manufatureiras de medicamentos com o objetivo de identificar como a melhoria da eficiência de custos pode auxiliar a aumentar as margens de lucro das empresas do setor. Entretanto, os autores não classificam as DMUs por semelhança e realizam a análise de eficiência econômica com o modelo de eficiência de custos. Como o estudo

objetiva reduzir os custos e aumentar as receitas, o modelo de lucro seria aconselhável. Os autores não discutem os resultados do cálculo de eficiência.

Josson e Blomberg (2011) realizam a análise de eficiência técnica, alocativa e econômica de empresas de fundição de alumínio em diferentes localidades. Os resultados identificaram que existe uma diferença de eficiências entre localidades e que a presença de ineficiências alocativas são os maiores ofensores da eficiência econômica dessas indústrias.

Mamun et al. (2010) avaliaram as eficiências técnicas, puramente técnicas e de escala para uma amostra de 82 empresas coletadas em dois períodos de tempo: 1993 e 1998 em Bangladesh. Os resultados demonstraram que maioria das empresas manufatureiras de Bangladesh experimentou um crescimento positivo da produtividade total entre 1993 e 1998, com uma média de 29% em um período de cinco anos. Entretanto, o estudo não avalia a eficiência econômica no processo de manufatura ou apresenta os modelos de eficiência econômica. São calculadas apenas eficiências técnicas das empresas.

Leachman et al. (2007) realizam a análise de eficiência técnica aplicando dois modelos DEA para estimar a influência do tempo de ciclo e outros atributos de desempenho no processo de manufatura de semicondutores. Os resultados mostraram que o tempo de ciclo e o rendimento seguem retornos crescentes de escala, assim como o custo e a utilização de recursos. Entretanto, o estudo não avalia a eficiência econômica no processo de manufatura ou apresenta os modelos de eficiência econômica. São calculadas apenas eficiências técnicas das empresas.

Ray et al. (1998) avaliaram a eficiência de mercado do setor industrial Chinês após a reforma de 1978 sobre a produtividade das empresas estatais chinesas dentro da indústria siderúrgica. Os resultados demonstraram que as empresas analisadas tiveram uma melhora de 77% na produção de outputs após as reformas. Entretanto, os determinantes do processo de manufatura não são avaliados.

Ray e Kim (1995) avaliaram a eficiência técnica e de custos das empresas produtoras de aço dos EUA entre os anos de 1958 e 1986. Os resultados demonstram que, mesmo havendo uma melhora em eficiência técnica, existem evidências, de que a ineficiência de custo na indústria siderúrgica deve-se principalmente ao processo de alocação de custos.

O Quadro 10 é uma síntese da literatura pesquisada e apresenta estudos que se propuseram a analisar eficiência econômica em sistemas de manufatura. O quadro

apresenta os autores, a aplicação, DMUs utilizadas, *inputs* e *outputs* e os modelos empregados para os cálculos de eficiência.

Quadro 10: Estudos relacionados de eficiência econômica

Autor(es)/Ano	Aplicação	DMU	Inputs	Outputs	Modelo				
					CRS	VRS	Cost Efficiency	Revenue Efficiency	Profit Efficiency
(SILAMBARASAN; AZHAGIAH, 2018)	16 indústrias da Índia	Cada empresa foi considerada uma DMU	Matéria-prima, número de equipamentos e custos totais de operação	Total de vendas, lucro líquido	X	X	X	X	X
(LOZANO; VILLA; EGUÍA, 2017)	1 empresa fabricante de eletrônicos	Cada posicionamento no sistema reconfigurável de manufatura	Equipamentos, horas de trabalho, Consumo de energia	Número de peças produzidas	-	X	X	-	-
(DAS; PATEL, 2014)	24 indústrias farmacêuticas	Cada empresa foi considerada uma DMU	Custos em pesquisa e desenvolvimento P&D, custos com matéria-prima, custos em treinamento, consumo de energia	Total de vendas	-	X	X	-	-
(BLOMBERG; JONSSON, 2011)	10 indústrias de fundição	Cada empresa foi considerada uma DMU	Matéria-prima, horas trabalhadas, energia utilizada	Volume de produção do produto analisado	X	-	X	-	-
(HASSAN; ISIK; MAMUN, 2010)	82 indústrias de Bangladeshi	Cada empresa foi considerada uma DMU	Matéria-prima, horas trabalhadas, capital social	Produto produzido	X	X	-	-	-
(LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007)	10 empresas fabricante de semicondutores	Cada quadrimestre entre os anos de 1995 e 2000	Número de produtos produzidos, Número de equipamentos, mão-de obra direta e indireta, área da fábrica, número de tipos de produtos	Produto produzido, lucro líquido	X	X	-	-	-
(RAY; SEIFORD; ZHU, 1998)	34 indústrias de fundição chinesas	Cada empresa foi considerada uma DMU	Custos em investimentos, custos em inovação, horas trabalhadas, capital social	Volume de produção do produto analisado	X	X	X	-	-
(RAY; KIM, 1995)	Indústria de fundição	Cada ano de 1958 a 1986 foi considerado uma DMU	Matéria-prima, horas trabalhadas, capital social	Volume de produção do produto analisado	-		X	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir do Quadro 10 observa-se que o modelo de eficiência econômico com maior frequência utilizado é o de eficiência de custos. Essa constatação corrobora com a teoria microeconômica, onde as funções de custo marginal, médio e total são ferramentas importantes para análise de produção, implicando que a minimização de custos é uma das normas básicas na análise econômica (SHIRAZ et al., 2018).

Apenas um estudo na amostra realiza o cálculo de eficiência econômica considerando os três modelos. Entretanto, este estudo não apresenta a modelagem matemática dos modelos utilizados e não apresenta uma avaliação da eficiência técnica e alocativa, que são essenciais para a análise da eficiência econômica (FÄRE; GROSSKOPF; LOVELL, 1985).

Hassan, Isik e Mamun (2010) e Leachman, Ding e Chien (2007) calculam apenas as eficiências técnicas e ambos utilizam as orientações CRS e VRS. Apesar de os autores, de certo modo, realizarem uma análise econômica considerando os insumos e a economia destes por meio da análise de ineficiência técnica, a falta da componente de eficiência alocativa não permite identificar a melhor combinação que minimize os custos de produção. Assim, as ineficiências detectadas são devidas ao uso dos insumos (eficiência técnica) ou devido à combinação errada de insumos à luz dos preços (eficiência alocativa) como se supõem (CAMANHO; DYSON, 2008).

Em nenhum dos estudos identificados foram calculadas as eficiências de receita ou de lucro. Uma hipótese para a falta de estudos abordando esses dois modelos é devido a que, embora os custos e as receitas sejam todos bem medidos pelas empresas, as quantidades físicas dos insumos e produtos e seus preços geralmente não são (SAHOO; MEHDILOOZAD; TONE, 2014). Essa hipótese também é sustentada por Camanho e Dyson (2005) em que os autores argumentam em relação entre incertezas nos preços. Nesse contexto, Portela e Thanassoulis (2005) complementam que o principal enfoque é na análise da eficiência de custo ao invés da eficiência de lucro. De fato, quando as informações de preço estão disponíveis, as análises de custo são mais comuns do que as análises de lucro (CONCEIC; PORTELA; THANASSOULIS, 2005).

Após descrição dos conceitos teóricos, a próxima seção apresenta os procedimentos metodológicos e etapas adotadas para o desenvolvimento da pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As pesquisas buscam assegurar o avanço da ciência e do conhecimento científico por meio de investigações sistemáticas formalizadas com o objetivo de compreender um fenômeno que ainda não foi completamente explicado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2013). Um fenômeno pode ser descrito como uma classe de objetos ou entidades com certas características e comportamentos em que o pesquisador ou um grupo de pesquisadores tenham interesse (MANSON, 2006).

Em geral, a pesquisa pode ser classificada em básica ou aplicada. A ciência pura ou básica, tem como objetivo gerar conhecimento para o avanço da ciência sem, no entanto, utilizar esse conhecimento na prática, ou seja, tem um caráter teórico, mas podendo levar à ações práticas (MANSON, 2006). A ciência aplicada tem caráter prático, busca resolver problemas específicos enfrentados por profissionais nas mais diversas atividades e inicialmente não busca a obtenção de conhecimento teórico em si (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015; MANSON, 2006).

Tanto a pesquisa básica quanto a pesquisa aplicada devem ser conduzidas por meio de um processo racional, claro e que possa ser replicável garantindo rigor, relevância e a busca pelo resultado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Assim, para o desenvolvimento da ciência e do conhecimento científico, é necessário a utilização de um método de pesquisa que conduza ao resultado esperado (MARCONI; LAKATOS, 2003). Neste capítulo, são apresentados os procedimentos aplicados para a condução deste estudo: método científico, método de pesquisa, método de trabalho e as técnicas de coleta e análise de dados. Na próxima seção, será apresentado o delineamento da pesquisa.

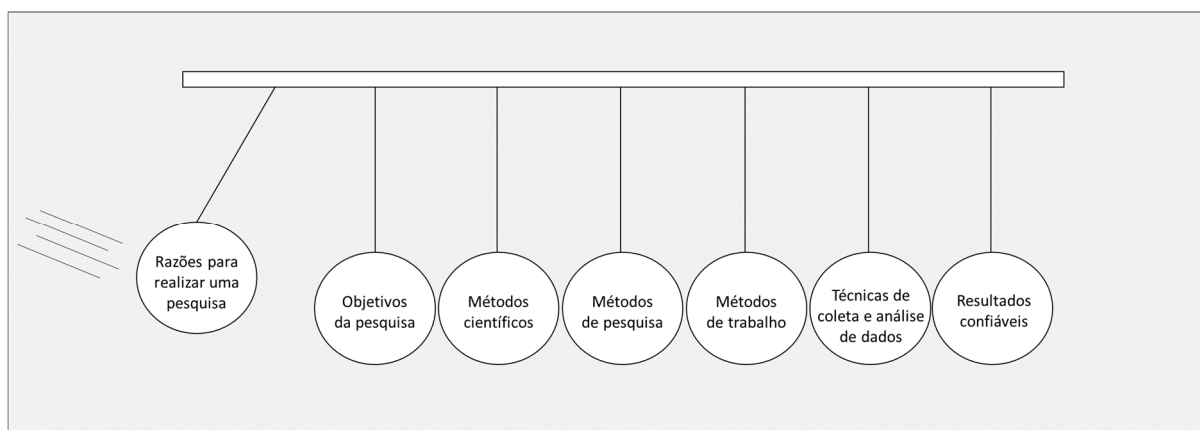
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa é um passo importante na condução de qualquer projeto de pesquisa, pois é por meio do planejamento do estudo, em sua dimensão mais ampla, que serão estabelecidos o conjunto de atividades sistemáticas e racionais para a obtenção dos resultados desejados. Além disso, o delineamento da pesquisa auxilia o pesquisador a eleger a estratégia mais adequada ao problema que deseja resolver, propondo o caminho a ser seguido, identificando possíveis inconsistências e auxiliando nas tomadas de decisões. Uma estratégia bem definida permite ao

pesquisador planejar o trabalho, coletar os dados e interpretar as informações obtidas garantindo o rigor, relevância e a replicabilidade do estudo citado anteriormente (MARCONI; LAKATOS, 2003; MIGUEL et al., 2012; YIN, 2001).

Partindo da premissa de que a pesquisa deve ser sistemática e formalizada para a geração de conhecimento, é necessário que seja conduzida por meio de procedimentos que venham a assegurar a fidelidade dos resultados obtidos demonstrando o rigor metodológico e permitindo o debate e a verificação (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Neste trabalho foi empregada a estratégia para condução de pesquisas científicas sugerida por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), onde os autores, se utilizam da metáfora do pêndulo de Newton para demonstrar as relações de dependência e alinhamento entre cada etapa no processo de condução de uma pesquisa científica, a Figura 10 ilustra o modelo proposto.

Figura 10: Estratégia para condução de pesquisas científicas



Fonte: Dresch, Lacerda, Antunes Junior (2015).

Toda pesquisa tem início por meio de uma necessidade, podendo esta ser o desejo de compreender em profundidade um fenômeno, adquirir novos conhecimentos ou resolver um problema prático. Nesse sentido, este trabalho é classificado como pesquisa de natureza aplicada, pois o problema e os objetivos desenvolvidos têm origem em um contexto prático das organizações em que o pesquisador busca compreender em sua totalidade. Essa necessidade é a razão para se dar início a uma investigação, ou seja, é o ponto de partida da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). A pesquisa existe para gerar entendimento sobre determinado tema, possibilitando a construção de uma base sólida de conhecimentos para que o objeto de estudo possa ser amplamente entendido e explicado. Em geral, as pesquisas são motivadas pelas seguintes razões: i) o investigador deseja

compartilhar uma nova e interessante informação; ii) a busca pela resposta para uma questão importante; iii) a compreensão de um fenômeno em profundidade; iv) curiosidade humana; v) necessidade de prever o comportamento de alguma entidade ou fenômeno; e vi) necessidade de mudar o comportamento de alguma entidade ou fenômeno (BOOTH; COLOMB; WILLIAMS, 2003; MANSON, 2006).

A razão principal que motiva este trabalho tem origem na busca pela resposta a uma questão importante: os sistemas de manufatura tecnicamente eficientes são, economicamente eficientes? Após definir uma razão para realizar a pesquisa é necessário que sejam estabelecidos os objetivos que se deseja alcançar com sua investigação. Os objetivos podem estar associados a explorar, descrever, explicar ou prever algum fenômeno (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Esta pesquisa se caracteriza por ter caráter exploratório e explicativo, pois teve como objetivo explicar a razão do fenômeno da eficiência econômica em sistemas de manufatura, aprofundando o conhecimento no contexto da indústria calçadista (YIN, 2001).

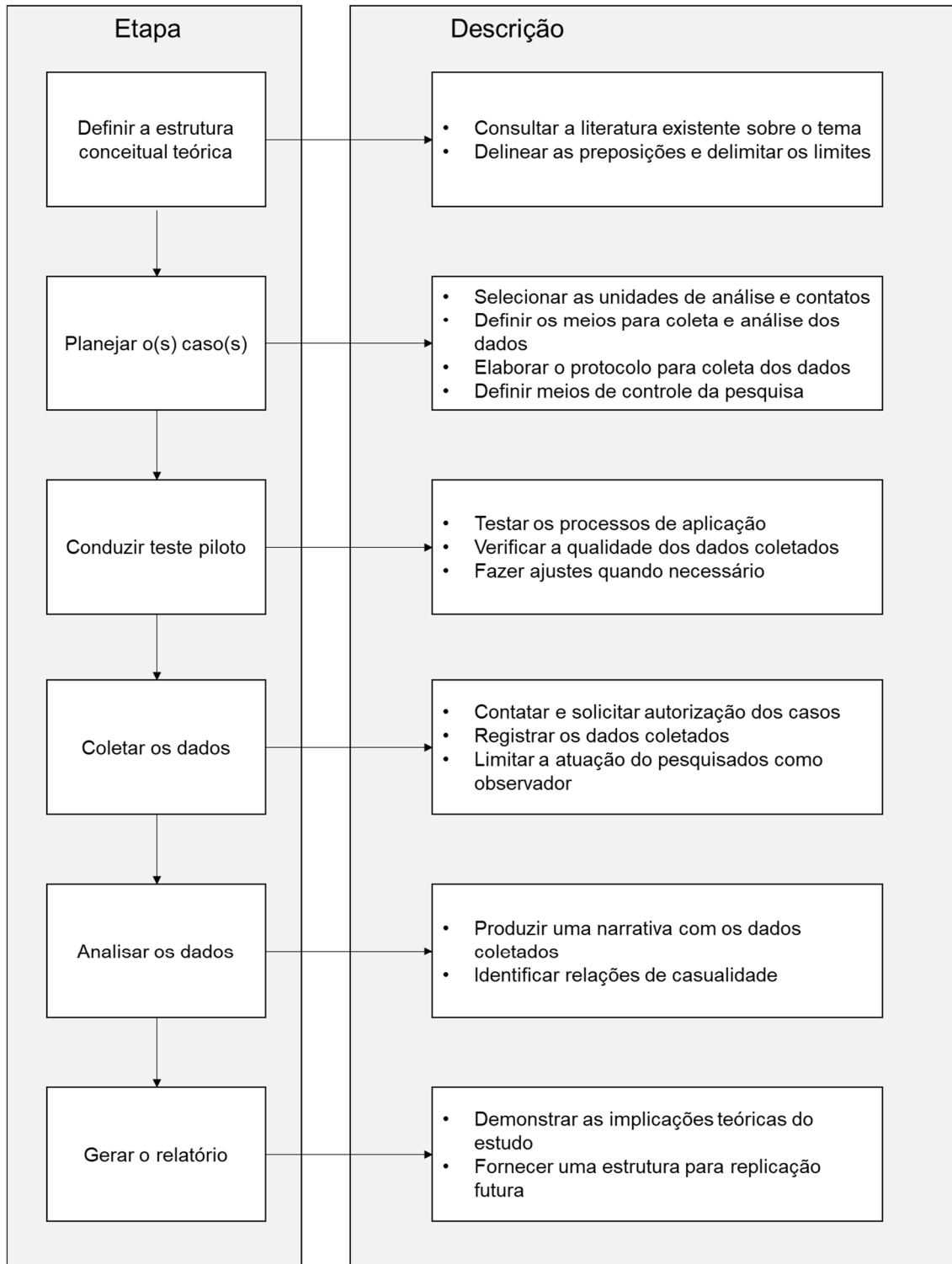
Quanto à abordagem, são utilizados conhecimentos prévios sobre eficiência técnica e econômica em sistemas de manufatura identificados pela revisão sistemática da literatura para propor um método hipotético-dedutivo com o objetivo de identificar um problema ou lacuna, propor e testar hipóteses que poderão resultar em previsões ou explicações sobre o fenômeno da eficiência econômica em sistemas de manufatura (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Além disso, o método hipotético-dedutivo procura explicar relações causais entre as variáveis analisadas que serão testadas e aceitas, no todo ou em parte, ou rejeitadas, conduzindo a um maior desenvolvimento da teoria que, em seguida, pode ser testada por outras pesquisas (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2008). A principal hipótese que norteia esta pesquisa é: sistemas de manufatura que tem elevada eficiência técnica, apresentam elevada eficiência econômica?

Cada tipo de abordagem possui características distintas, o que as tornam únicas. Dependendo da questão de pesquisa a ser respondida, uma abordagem, seja ela quantitativa ou qualitativa, poderá guiar o pesquisador na condução da pesquisa (EISENHARDT, 1989; MIGUEL et al., 2012). Quanto ao tipo de abordagem, este trabalho se caracteriza por ser de cunho quantitativo, pois são empregadas técnicas matemáticas e estatísticas para avaliar as variáveis do modelo de eficiência econômica utilizado na análise da unidade de contexto desta pesquisa e os resultados obtidos das eficiências técnica e econômica.

Quanto à estratégia de pesquisa, é realizado um estudo de caso único. O estudo de caso tem caráter empírico que investiga um fenômeno contemporâneo em um contexto da vida real em que os limites entre tal contexto e o fenômeno não são claros (MIGUEL et al., 2012; YIN, 2001). O estudo de caso também é empregado em situações em que o fenômeno não pode ser estudado fora do ambiente em que ocorre, onde é necessário uma análise em profundidade na pesquisa ou que a teoria existente se demonstra inadequada para explicar o fenômeno (DUBÉ; PARÉ, 2003; EISENHARDT, 1989). Nesse cenário, os estudos de caso possibilitam o desenvolvimento de novas teorias e auxiliam no entendimento dos fenômenos reais e contemporâneos (MIGUEL, 2007). Entretanto, a condução de um estudo de caso não é uma tarefa banal e requer disciplina na sua execução e, além disso, pode sofrer críticas em função de limitações metodológicas na escolha do caso ou dos casos, coleta e análise dos dados, apresentação dos resultados e geração de conclusões suportadas pelas evidências (MIGUEL et al., 2012).

Nesse sentido, o estudo de caso deve ser conduzido de modo estruturado, formalizado e sistemático onde devem ser definidas etapas objetivas e claras para o alcance dos objetivos da pesquisa. Essas etapas são: definir uma estrutura conceitual teórica, planejar os casos, conduzir teste piloto, coletar os dados, analisar os dados e gerar relatório (MIGUEL et al., 2012). Este trabalho faz uso das etapas propostas por Cauchick Miguel e Souza (2012) para conduzir este estudo de caso, a Figura 11 apresenta a proposta de conteúdo e sequência para a condução de um estudo de caso.

Figura 11: Condução do estudo de caso



Fonte: Adaptado de Cauchick et al. (2012, p. 134).

Cabe apontar que, além das limitações metodológicas que podem gerar críticas ao estudo, existem outros desafios na condução de estudos de caso como o elevado tempo para realização, a necessidade de pesquisadores qualificados, as conclusões do estudo não podem ser generalizadas, entre outros (MIGUEL et al., 2012). Mas,

apesar disso, os resultados dos estudos de casos podem, ainda, gerar impacto relevante e conduzir a ideias criativas e ao desenvolvimento de novas teorias, além de ter elevada relevância entre os profissionais, que são os últimos usuários da pesquisa (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Em relação ao horizonte de tempo, este trabalho apresenta uma pesquisa longitudinal. A pesquisa longitudinal ocorre em função de a análise dos dados ser realizada dentro de um período de tempo determinado demarcando marcos específicos de análise (semanas, meses ou anos). Os estudos longitudinais podem descrever os fenômenos ao longo do tempo (BARRATT; CHOI; LI, 2011; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Apresentados o enquadramento e as principais características do método de pesquisa utilizado nesta dissertação, a classificação geral da pesquisa é exibida no Quadro 11, demonstrando a classificação em relação a natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos adotados.

Quadro 11: Classificação geral da pesquisa

Classificação	Tipo de pesquisa	Descrição
Natureza	Aplicada	<ul style="list-style-type: none"> • Objetiva gerar conhecimento para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. • Analisar o fenômeno da eficiência econômica em sistemas de manufatura
Abordagem	Quantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisa aplicada por meio de estudos estatísticos voltados à quantificação do objeto de estudo. • Uso de técnicas matemáticas e estatísticas para avaliar quais as variáveis que influenciam na eficiência técnica em um sistema produtivo.
Objetivos	Explicativa	<ul style="list-style-type: none"> • Objetiva explicar a razão de um fenômeno, aprofundando o conhecimento de uma determinada realidade. • O fenômeno está associado com a eficiência econômica em sistemas de manufatura, a realidade é o contexto da empresa analisada.
	Exploratória	<ul style="list-style-type: none"> • Visa identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. • Identifica as variáveis que contribuem na eficiência econômica em sistemas de manufatura

Classificação	Tipo de pesquisa	Descrição
Procedimentos técnicos	Estudo de caso	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que seja possível o amplo e detalhado conhecimento. • Necessário o desenvolvimento de um estudo de caso em profundidade e não apenas baseado em percepções existentes.

Fonte: Elaborado pelo autor com base Cauchick (2007), Dresch et al. (2015) e Yin (2001).

Após considerações sobre o método de pesquisa, na próxima seção é apresentado o método de trabalho.

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho serve para orientar a sequência de passos lógicos que o pesquisador deve executar para atingir os objetivos de pesquisa. É neste ponto do trabalho em que o pesquisador desdobra e detalha o método de pesquisa selecionado a partir do método científico definido (YIN, 2001). Além disso, o método de trabalho deve abranger a descrição das etapas e as técnicas de coleta e análise de dados, esclarecendo as razões que motivam tais escolhas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Nesta pesquisa, o método de trabalho foi embasado nas etapas para aplicação de um estudo de caso mencionado por Cauchick et al. (2012) e exibido na Figura 11, com adaptações. O método de trabalho foi composto por cinco etapas: i) Definir o modelo conceitual; ii) Projetar o modelo DEA; iii) Coletar os dados; iv) Analisar os dados, e; v) Gerar o relatório. O método de trabalho é apresentado na Figura 12.

A fase 1 do método de trabalho consistiu na definição do modelo conceitual teórico da presente pesquisa. Esta etapa contemplou a Revisão Sistemática da Literatura que inclui artigos, dissertações, teses e livros em bases de dados nacionais e internacionais relevantes sobre o tema. Nesta etapa, foi realizada uma pesquisa dos conceitos referentes a aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para os cálculos de Eficiência de Custos (EC), Eficiência de Receita (ER) e Eficiência de Lucros (EL) em sistemas de manufatura. Após esta etapa, são realizados o delineamento prévio e a avaliação do modelo conceitual de pesquisa. O modelo conceitual de pesquisa foi apresentado na seção 1 deste trabalho.

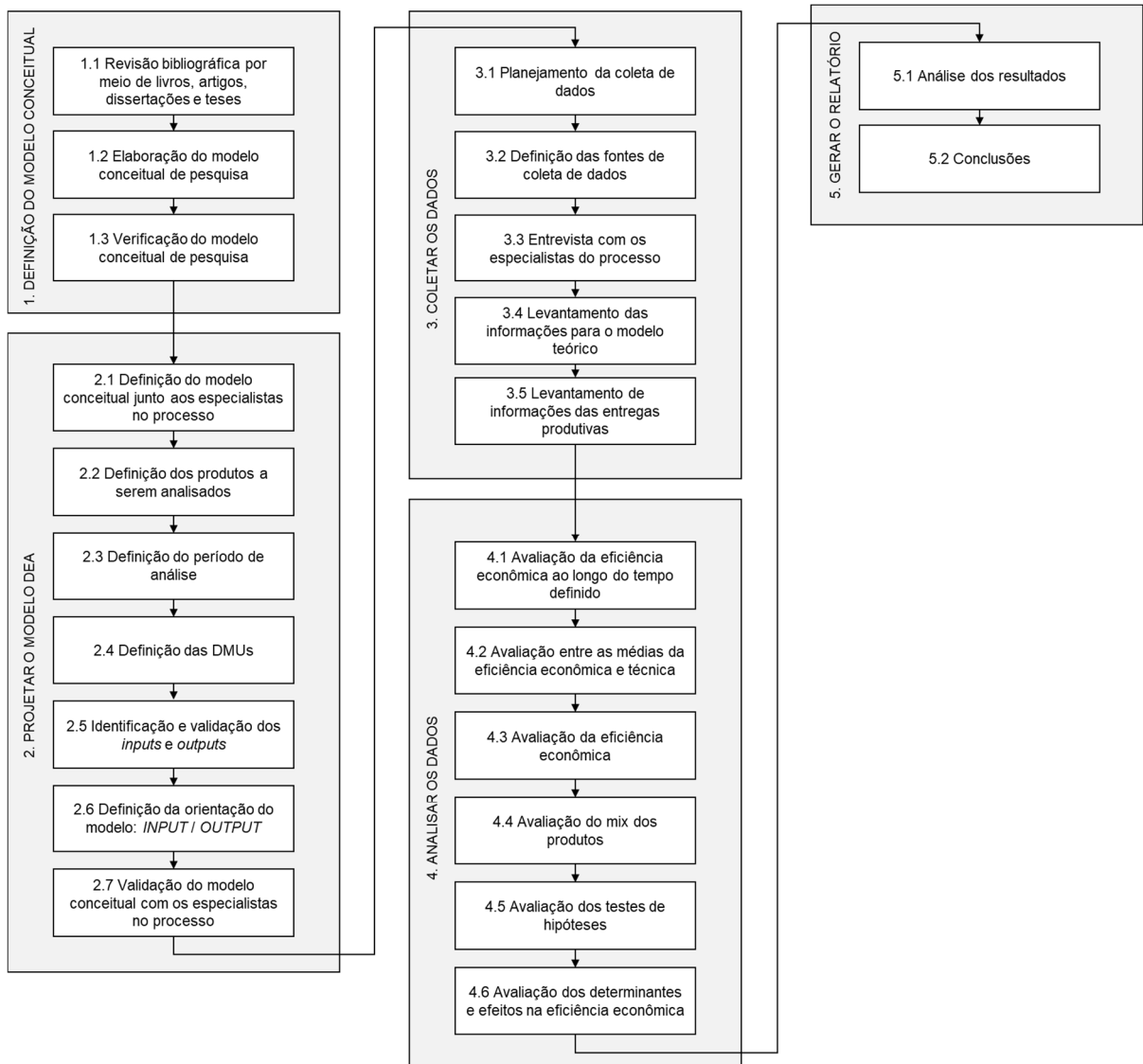
A fase 2 do trabalho teve como objetivo projetar o modelo DEA. Com a definição do modelo conceitual de pesquisa, esta fase foi realizada com auxílio de sete especialistas (Quadro 12) no processo investigado (indústria calçadista), onde são informados quais são os especialistas e os critérios de seleção na seção 3.3 projeto do modelo DEA. Na sequência, com base na literatura e com o apoio dos especialistas da empresa e acadêmicos, foi elaborado o projeto do modelo DEA, com definição dos produtos a serem analisados, definição do período de análise, definição das DMUs, identificação dos *inputs* e *outputs*, e demais atividades exibidas na Figura 12. Após o desenvolvimento do modelo DEA, são realizados ajustes e uma avaliação final. Além disso, o modelo conceitual DEA é validado com os especialistas da empresa e acadêmicos que auxiliaram no desenvolvimento do estudo. O planejamento e a execução da coleta de dados para o método de trabalho ocorreram na fase 3. Antes de iniciada a coleta dos dados foi necessário realizar o planejamento detalhado de como será realizado, abordando os passos que o pesquisador deve seguir para realizar a coleta e como se dá sua condução. Logo em seguida foram definidas as fontes para coleta dos dados, ou seja, quais são os participantes do estudo de caso que irão proporcionar por meio de entrevistas as informações para construção do modelo teórico.

Na fase 4 os resultados obtidos foram analisados por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Foi realizada uma avaliação para verificar o comportamento da eficiência econômica do sistema de manufatura analisado ao longo do tempo definido.

Posteriormente, foram realizadas análises estatísticas com o objetivo de identificar se houve diferença significativa entre a eficiência econômica medidas nesta pesquisa e a análise técnica medida pela empresa. Deste modo, é possível realizar uma avaliação entre as médias das eficiências técnica e econômica e avaliar as variáveis que afetam a eficiência.

Por fim, na fase 5 que corresponde a gerar o relatório foram apresentados os resultados e discussões sobre a pesquisa. Os resultados gerados nessa fase são apresentados para os especialistas no processo com propósito de gerar um debate de tal modo que se identifique quais foram as contribuições desta pesquisa para a empresa analisada e para a teoria. No fechamento, a conclusão sobre o problema estudado foi escrita, sendo apresentadas as delimitações do estudo e sugestões de pesquisas futuras.

Figura 12: Método de trabalho



Fonte: Adaptado de Cauchick et al. (2012).

A Figura 12 apresentou o método de trabalho. Na próxima seção, são descritos os processos referentes ao projeto do modelo DEA.

3.3 PROJETO DO MODELO DEA

A empresa no qual foi desenvolvido o estudo é uma indústria do setor calçadista que objetiva aumentar sua participação nos mercados interno e externo, por meio da concorrência por preços. A seleção da empresa é suportada por autores encontrados na literatura que destacam a possibilidade de aumentos eficiência econômica são diferenciais para a competitividade do setor calçadista (BRITO et al., 2016; FILHO; FERNANDES; LIMA, 2009; KLAUS, 2016; MORO et al., 2017; OLESIK et al., 2016;

POERSCHKE, 2018; SOMMER, 2002). Além disso, a escolha da empresa deve-se à possibilidade de acesso as informações necessárias para desenvolvimento do modelo DEA.

Após a definição da empresa e da estrutura conceitual teórica do trabalho, inicia-se a fase de projeto do modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA), que é utilizada para efetuar a medição eficiência econômica do sistema de manufatura da empresa. Para esta etapa, foi definido o modelo conceitual com o auxílio de sete especialistas no processo de manufatura de calçados da empresa em estudo e dois especialistas acadêmicos.

A escolha dos profissionais especialistas foi atribuída a experiência nas atividades produtivas, conhecimento dos processos da empresa, por terem aceito participar no apoio do desenvolvimento da pesquisa. As reuniões com os sete especialistas tiveram como objetivo a busca das orientações preliminares quanto à definição das variáveis e quanto ao processo de coleta e tratamento dos dados. As reuniões com os dois especialistas acadêmicos tiveram como objetivo a validação das variáveis sugeridas pelos especialistas da empresa.

Quadro 12: Profissionais da empresa

Cargo na empresa	Participação no projeto	Tempo de empresa
Analista de PPCP	Apoio na definição do modelo e coleta de dados do processo produtivo e interpretação dos resultados.	6 Anos
Supervisor de PPCP	Apoio na definição do modelo, validação do modelo e interpretação dos resultados.	12 Anos
Gerente de PPCP	Apoio na definição do modelo, validação do modelo e interpretação dos resultados.	16 Anos
Supervisor de Custos	Apoio na definição do modelo, validação do modelo e interpretação dos resultados.	9 Anos
Analista de Engenharia de Processos	Apoio na definição do modelo e coleta de dados do processo produtivo e interpretação dos resultados.	25 Anos
Gestor de Engenharia Industrial	Apoio na definição do modelo, validação do modelo e interpretação dos resultados.	23 Anos
Diretor Industrial	Apoio na definição do modelo e validação do modelo.	35 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os profissionais da empresa consultados nesta etapa da pesquisa também participam nas etapas subsequentes. No Quadro 12 é exposto o cargo de cada profissional, sua participação no projeto e o tempo de atuação na empresa.

Os profissionais selecionados formam uma equipe multidisciplinar, visto que exercem cargos operacionais (por exemplo, analista de PPCP), táticos (gestor e gerente) e estratégico (diretor). A formação de uma equipe multidisciplinar auxilia o pesquisador em ter conhecimento maior sobre o assunto a ser estudado, com diferentes opiniões (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Depois de definir os especialistas da empresa, conforme descrito no método de trabalho, teve início a fase de projeto do modelo DEA. O projeto do modelo DEA a ser utilizado pelo pesquisador é um dos pontos mais relevantes em avaliações com uso da análise envoltória de dados (COOK; TONE; ZHU, 2014), pois entende-se que modelos especificados de maneira não criteriosa têm impactos negativos nos resultados obtidos para análise (NATARAJA; JOHNSON, 2011). Nesse sentido, na próxima seção, são discutidos os aspectos referentes à definição das unidades de contexto de análise.

3.3.1 Definição das unidades e período de análise

A unidade de análise desta pesquisa será o sistema de manufatura de uma indústria calçadista. A empresa estudada possuiu cinco plantas fabris que produzem calçados femininos e esportivos. O grupo de especialistas recomenda que seja realizado um estudo comparativo da eficiência econômica entre os negócios feminino e esportivo. O estudo de eficiência econômica dos negócios como um todo permite um melhor entendimento dos resultados econômicos atuais das unidades, proporcionando a identificação de ineficiências técnica e alocativa.

A análise foi longitudinal, o objetivo foi realizar a análise ao longo do tempo da eficiência econômica por meio do processo de *benchmark* interno entre os negócios. O período proposto teve base mensal, totalizando 30 meses entre os meses de janeiro de 2017, 2018 e o primeiro semestre de 2019. O período foi definido com o auxílio do grupo de especialistas. Em relação ao período de análise, os especialistas apontam que entre os anos de 2017, 2018 e o primeiro semestre de 2019 não houve alterações estruturais que afetassem as unidades em análise ou sazonalidade na demanda produtiva, como a saída ou entrada de novos clientes ou a ampliação ou redução dessas unidades.

Com essas informações, verificou-se a disponibilidade das informações para efetuar a coleta de dados. Obteve-se a informação de que o *software* ERP utilizado

pela empresa possui todas as informações necessárias para a pesquisa, sendo responsável pelo gerenciamento da matéria prima, recursos, ordens de produção, entre outros elementos.

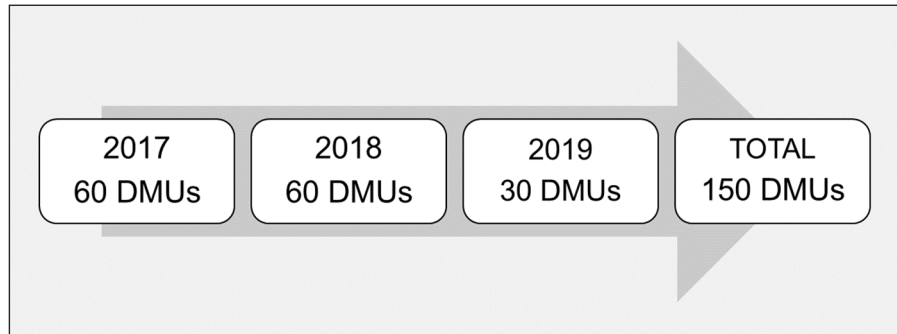
3.3.2 Definição das unidades de tomada de decisão (DMUs)

Após a determinação do período de análise, definiram-se as DMUs com base longitudinal no período mensal de dois anos (2017 e 2018) e o primeiro semestre de 2019. Esse período de análise dos dados de produção foi utilizado para as cinco unidades fabris contempladas nesta pesquisa, sendo dividido em meses, ou seja, 30 meses para cada uma das cinco unidades onde mês 01 refere-se ao mês de janeiro de 2017 e o mês 30 refere-se ao mês de junho de 2019.

Cada uma das unidades é especializada em produzir um determinado tipo de calçado. A proposta inicial foi considerar cada família de produto como uma DMU. Contudo, após argumentos dos especialistas do processo verificou-se a impossibilidade dessa proposta devido à complexidade de determinadas famílias de calçados e especialidade das fábricas em determinados modelos. Ou seja, determinado cliente pode solicitar a produção de um reduzido volume de um calçado mais complexo, como por exemplo botas de couro. De mesmo modo, existem clientes que compram um elevado volume de produtos de menor complexidade, como por exemplo, sandálias. Essa realidade faz com que a manufatura de reduzido volume demande maior envolvimento dos funcionários e apresente tempos de produção maiores do que os produtos de alto volume, apresentando DMUs com características diferentes e inviabilizando a utilização da DEA.

Nesse sentido, para formação das DMUs foi sugerido pelos especialistas a avaliação mensal das unidades fabris. Logo, a avaliação mensal de cada uma das unidades é importante para a empresa no sentido de comparar os resultados desta avaliação com os indicadores econômicos utilizados por ela. Também pode ser analisado qual o mês teve o melhor ou pior resultado em relação à eficiência. A Figura 13 mostra o período de análise e a quantidade de DMUs consideradas.

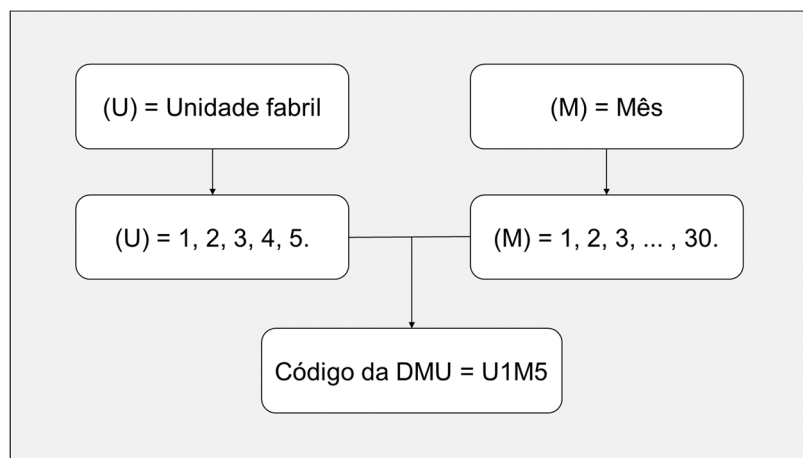
Figura 13: Período de análise e quantidade de DMUs



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As DMUs são o resultado de cada unidade fabril observada em um dado mês do período de análise. Entende-se que a DMU de código U1M5 refere-se à unidade fabril 1, no mês 5 do período 1 (2017). A Figura 14 apresenta o modelo utilizado para a construção das DMUs.

Figura 14: Modelo para construção das DMUs



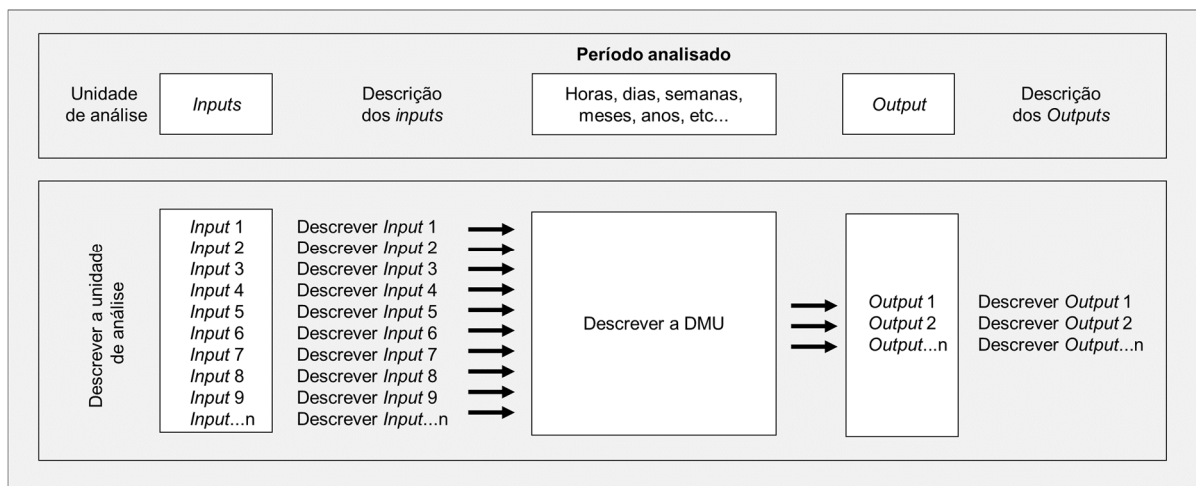
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Desta forma, a análise do processo produtivo contempla 150 DMUs, sendo que: i) 60 DMUs referente aos meses do ano de 2017; ii) 60 DMUs referente aos meses do ano de 2018, e; iii) 30 DMUs referente ao primeiro semestre de 2019. O modelo de construção das DMUs foi elaborado com o apoio dos especialistas da empresa. Os especialistas apontam que a avaliação mensal entre as unidades é importante para a empresa no sentido de comparar os resultados da análise com os indicadores utilizados pela organização, considerando que esses indicadores geralmente são

analisados mensalmente e também proporciona a comparação entre meses de uma mesma unidade.

Com a definição das DMUs a serem analisadas, o próximo passo foi apresentar ao grupo de especialistas o desenho ilustrativo do modelo que será utilizado para construção do modelo de eficiência econômica utilizado nesta pesquisa. A Figura 15 apresenta todas as decisões tomadas no processo de modelagem, organizadas de maneira simples e resumida. Inicialmente pode ser descrita a unidade de análise. Posteriormente pode ser feita uma descrição dos *inputs* utilizados, simulando um sistema no qual estes *inputs* (recursos) são inseridos na DMU, onde são processados e transformados no(s) *output*(s) que são os produtos ou serviços resultantes do processo. Essa ilustração esquemática auxilia todo o processo de elaboração e apresentação da análise.

Figura 15: Ilustração de um modelo DEA



Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018)

Na próxima seção, estão descritos os procedimentos de definição das variáveis do modelo DEA.

3.3.3 Definição das variáveis do modelo DEA (*input* e *output*)

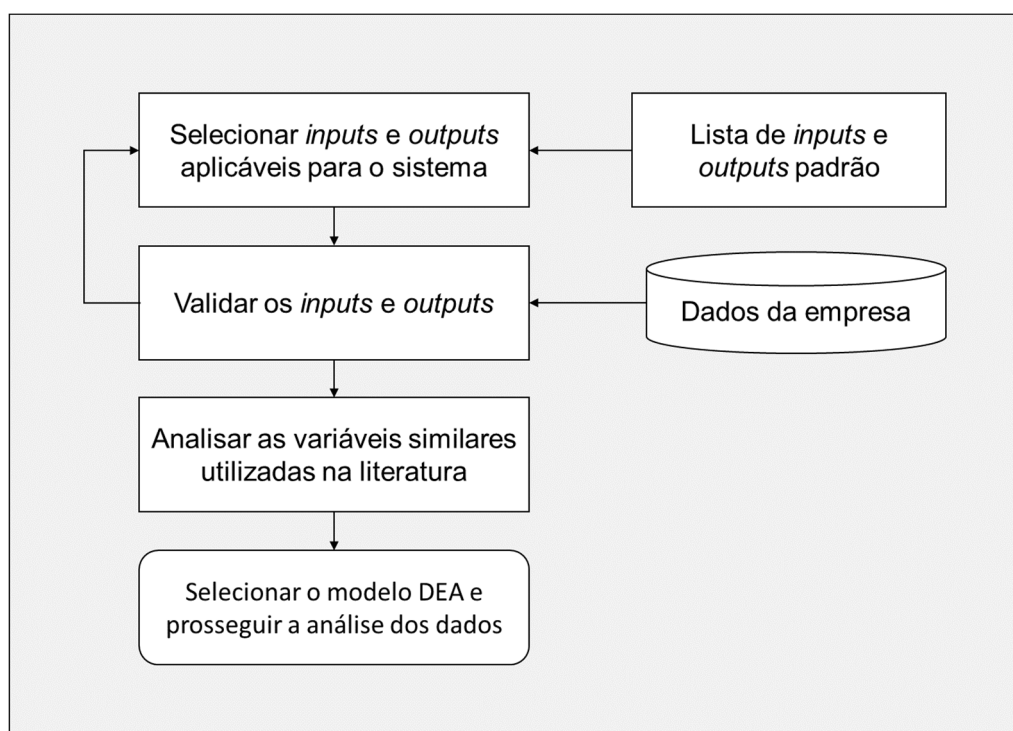
A definição das variáveis de entrada (*input*) e de saída (*output*) pode ser considerada a etapa mais importante do processo de modelagem utilizando a análise envoltória de dados (DEA) (COOK; TONE; ZHU, 2014). Cook, Tone e Zhu (2014) salientam que análises de eficiência utilizando DEA em processos produtivos tendem a ter os *inputs* e *outputs* facilmente identificáveis, no qual os recursos utilizados

representam os *inputs* e os produtos finalizados os *outputs*. Ainda assim, Cook, Tone e Zhu (2014) destacam que em análises utilizando DEA não é possível ter completa certeza de que todas as variáveis relevantes foram incluídas no modelo definido, porém é necessário que sejam feitos todos os esforços para incluir as variáveis que fazem sentido prático para a investigação proposta.

Considerando que a definição de variáveis é apontada como uma questão central na modelagem DEA, os pesquisadores podem tender a definir um número elevado de variáveis para garantir que o modelo DEA desenvolvido represente adequadamente o processo analisado. No entanto, se um modelo DEA possuir um número relativamente elevado de variáveis em relação às DMUs definidas, tenderá a apresentar problema de discriminação entre as DMUs. O problema de discriminação ocorre quando não é possível distinguir as DMUs eficientes das ineficientes, comprometendo a análise de resultados. Assim, é necessário construir um modelo DEA com as variáveis consideradas relevantes na análise proposta (COOK; TONE; ZHU, 2014; COOPER et al., 2011).

Diante do contexto exposto, a seleção das variáveis desta pesquisa é embasada no *framework* proposto por Jain, Triantis e Liu (2011) (Figura 16), cuja fase inicial estrutura a necessidade de selecionar uma lista padrão de *inputs* e *outputs* do sistema em estudo e realizar a posterior validação dos dados. Adicionalmente, a literatura é analisada em busca de variáveis similares utilizadas, para então selecionar o modelo DEA e iniciar a análise dos dados.

Figura 16: Definição das variáveis DEA



Fonte: Elaborado pelo autor com base Jain et al. (2011).

A seleção da lista padrão e validação das variáveis de *inputs* e *outputs* aplicáveis para as cinco unidades fabris em estudo, foi realizada com o apoio do grupo de especialistas da empresa mencionados previamente no Quadro 12. Entende-se que este procedimento reforça o rigor da modelagem. Deste modo, a lista primária das potenciais variáveis aplicáveis para as cinco unidades fabris seguida da definição conhecida na empresa, é apresentada no Quadro 13. Posteriormente, as variáveis são validadas se estão alinhadas com o processo produtivo estudado. Além disso, é verificada a disponibilidade dos dados na empresa.

Quadro 13: Variáveis primárias informadas pelos especialistas

Nome	Descrição	Unidade de medida
Horas de trabalho na produção Interna	Quantidade de horas registradas no sistema interno utilizada para fabricação de cada produto	Horas
Horas de trabalho externo de produção	Quantidade de horas externas utilizada para fabricação de cada produto	Horas
Número de pessoas utilizadas no processo	Pessoas consideradas como mão de obra direta	Pessoas
Número de pessoas utilizadas no apoio	Pessoas consideradas como mão de obra indireta	Pessoas

Nome	Descrição	Unidade de medida
Número de pares produzidos	Quantidade de pares produzidos de cada modelo	Pares
Modelos produzidos	Quantidade de modelos produzidos	Unidades
Consumo de energia elétrica	Energia elétrica consumida na unidade produtiva	kWh
Número de produtos em processamento	Quantidade de produtos em processamento	Unidades
Número de pares retrabalhados	Quantidade de produtos retrabalhados no processo produtivo	Pares
Número de pares refugados	Quantidade de produtos refugados no processo produtivo	Pares
Gastos com fretes <i>inbound</i>	Quantidade de fretes internos realizados	Reais
Gastos com fretes <i>outbound</i>	Quantidade de fretes externos realizados	Reais
Matéria-prima A	Quantidade em metros da matéria-prima classificada como A	M ²
Matéria-prima B	Quantidade em metros da matéria-prima classificada como B	Unidades
Matéria-prima C	Quantidade em metros da matéria-prima classificada como C	Unidades
Número de pares Faturados	Quantidade de pares faturados de cada modelo	Pares
Faturamento	Pares faturados	Reais
EBITDA	Lucro calculado antes de juros, impostos, depreciação e amortização	Reais

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As variáveis primárias do modelo conceitual não puderam ser aplicadas completamente devido à falta de dados da empresa ou restrição de acesso às informações, contudo fornecem uma orientação para o processo inicial de verificação das variáveis. Para suportar a escolha das variáveis buscou-se analisar a literatura, considerando pesquisas que empregam DEA para avaliar a eficiência de processos, em especial os de manufatura.

Para uma avaliação do processo produtivo, Jain et al. (2011) apontam que as variáveis primárias de *input*, como por exemplo, os principais materiais utilizados na fabricação dos produtos devem ser consideradas para elaboração do modelo DEA. Essas variáveis também foram utilizadas em outras pesquisas para composição do custo do produto (BLOMBERG; JONSSON, 2011; COOK; TONE; ZHU, 2014; LOZANO; VILLA; EGUIA, 2017; PARK; LEE; ZHU, 2014).

Como entradas relacionadas ao número de colaboradores, no modelo são considerados o Número de Pessoas Diretas e o Número de Pessoas Indiretas no processo de produção. O número de colaboradores indica ser uma variável comum em diversos estudos de eficiência com DEA (USMAN et al., 2015; WU et al., 2017). Entretanto, a variável Número de Pares Produzidos e EBITDA não puderam ser utilizadas devido a utilização da variável Número de Pares Faturados, que traduz a produção mensal de cada unidade e pela restrição de dados pela empresa em estudo respectivamente.

Os especialistas entrevistados recomendaram que fossem consideradas variáveis relacionadas à dimensão qualidade. Nesse sentido, indicaram o número de pares retrabalhados no processo produtivo e o número de pares refugados como variáveis que influenciam na qualidade dos produtos. Cada um dos itens foi considerado como uma única variável do modelo.

Nesse sentido, Seiford e Zhu (2002) comentam que durante a modelagem DEA existem variáveis desejáveis (boas) e indesejáveis (ruins), onde, por exemplo, há ineficiência em processos produtivos que a manufatura gera resíduos e refugos, sendo almejada a redução para melhorar a performance. Jain et al. (2011) apontam que a variável de produtos retrabalhados e refugados pode ser adotada para quantificar o número de produtos com problemas de qualidade durante a produção ou que apresentaram falhas nos testes e foram retrabalhados ou descartados.

A empresa estudada utiliza o indicador de Solicitação Interna de Consumo (SIC). No momento em que há um retrabalho é aberto um protocolo para registro e então é informada a necessidade de matéria-prima para o retrabalho. Cada solicitação pode conter variados tipos de matérias-primas e estar relacionada com uma ou mais ordens de serviço em produção. Deste modo, com o auxílio dos especialistas da empresa foi definido que a variável Número de Retrabalhos será computada pela quantidade de solicitações abertas no sistema.

A variável Quantidade de Produtos em Processamento é apontada pelos especialistas entrevistados como importante, dado as características do processo produtivo que são divididas em muitas etapas, entretanto, devido à indisponibilidade de informações e por haver inconsistências nos registros da empresa, esta variável não foi considerada no modelo. Quanto às variáveis relacionadas às matérias-primas, os especialistas sugerem a utilização apenas a variável Matéria-prima A, que representa couro, tecido, forro e solado. As demais variáveis, segundo os

especialistas, Matéria-prima B e Matéria-prima C, não foram consideradas no modelo devido à reduzida importância na composição do custo do calçado, como por exemplo atacadores, fitas e fivelas.

A variável Pares Faturados também é encontrada como quantidade produzida, produtos acabados, volume produzido, produtos entregues, pedidos finalizados e é utilizada com frequência na literatura, como um *output* primário aplicável a diferentes modelos DEA de sistemas de manufatura, em geral com objetivo de maximização (BLOMBERG; JONSSON, 2011; COOK; TONE; ZHU, 2014; HASSAN; ISIK; MAMUN, 2010; JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LOZANO; VILLA; EGUIA, 2017; PARK; LEE; ZHU, 2014). Segundo os especialistas entrevistados, esta variável é acompanhada na empresa em estudo, sendo considerada indicador de performance, visto que, o Número de Pares Faturados representa o quanto do que foi produzido se converteu em faturamento.

A variável Gastos com fretes *outbound* que se refere ao custo extra com transporte aéreo de entrega dos calçados produzidos, não pôde ser utilizada no modelo devido à falta de dados da empresa. Os especialistas relataram que a coleta dos dados é um processo manual e teve início em 2019, deste modo, não havendo histórico das informações. A variável Gastos com fretes *inbound* não pode ser utilizada no modelo de eficiência econômica DEA, devido uma das unidades produtoras também atuar como centro de distribuição de matérias-primas para as demais, não havendo esse tipo de gasto para unidade em questão. Além disso, tal fato é uma quebra da necessidade de homogeneidade dos dados requerida pela DEA (COOK; TONE; ZHU, 2014).

Após a definição das variáveis, foi decidido quais seriam utilizadas como entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) do modelo. Em seguida, as variáveis foram apresentadas aos especialistas da empresa, aos quais foram solicitados os dados compreendidos entre janeiro de 2017 e junho de 2019 (30 meses). Cada amostra de dado corresponde ao período de um mês, de modo que cada variável contém 30 amostras de dados. Os valores coletados das variáveis são dados secundários do ambiente de estudos. Os dados são provenientes do sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) utilizado pela empresa estudada. O Quadro 14 apresenta a lista final de variáveis do modelo DEA, seguido da denominação que cada variável representa na pesquisa, a unidade de medida utilizada e o embasamento da literatura proveniente de estudos anteriores.

Quadro 14: Lista final de variáveis do modelo DEA

Variável	Nome	Descrição	Unidade de medida	Embasamento
<i>input01</i>	Número de pessoas diretas utilizadas no processo	Tempo utilizado na manufatura de um produto interno.	Pessoas	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LOZANO; VILLA; EGUIA, 2017; PARK; LEE; ZHU, 2014; WU et al., 2017)
<i>input02</i>	Número de pessoas indiretas utilizadas no processo	Tempo utilizado na manufatura de um produto externo.	Pessoas	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LOZANO; VILLA; EGUIA, 2017; PARK; LEE; ZHU, 2014; WU et al., 2017)
<i>input03</i>	Número de horas extras diretas utilizadas no processo	Quantidade de funcionários envolvidas no processo produtivo.	Horas	(BARBOSA et al., 2017; JOHANNESSEN; KITTELSEN; HAGEN, 2017; SHIRAZ et al., 2018)
<i>input04</i>	Número de horas extras indiretas pessoas utilizadas no apoio	Quantidade de funcionários envolvidas no processo de apoio.	Horas	(BARBOSA et al., 2017; JOHANNESSEN; KITTELSEN; HAGEN, 2017; SHIRAZ et al., 2018)
<i>input05</i>	Matéria-prima de couro utilizada na produção	Quantidade de matéria-prima couro utilizada	M ²	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007; SILAMBARASAN; AZHAGAIH, 2018)
<i>input06</i>	Matéria-prima de forro utilizada na produção	Quantidade de matéria-prima forro utilizada	M ²	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007; SILAMBARASAN; AZHAGAIH, 2018)
<i>input07</i>	Matéria-prima de tecido utilizada na produção	Quantidade de matéria-prima tecido utilizada	M ²	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007; SILAMBARASAN; AZHAGAIH, 2018)
<i>input08</i>	Matéria-prima de solado utilizada na produção	Quantidade de matéria-prima solado utilizada	M ²	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007; SILAMBARASAN; AZHAGAIH, 2018)
<i>input09</i>	Consumo de energia elétrica	Energia elétrica consumida na unidade produtiva	kWh	(BLOMBERG; JONSSON, 2011; MARQUES; SILVA, 2006)
<i>input10</i>	Número de retrabalhos	Quantidade de retrabalhos	Quantidade	(NANCI, 2004)
<i>Output01</i>	Número de pares faturados	Quantidade de produtos prontos acabados faturados	Pares	(JAIN; TRIANTIS; LIU, 2011; LEACHMAN; DING; CHIEN, 2007; SILAMBARASAN; AZHAGAIH, 2018)

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Posteriormente à escolha das variáveis a serem utilizadas na análise, a próxima etapa é a definição do modelo de eficiência econômica DEA a ser empregado e a orientação final do modelo *input* ou *output*.

3.3.4 Definição dos modelos para cálculo das medidas de eficiência

Nesta seção são apresentadas as seis medidas para o cálculo de eficiência dos modelos estudados, a saber: i) MODELO A, para a análise da eficiência econômica em conjunto das unidades que produzem calçados esportivos; ii) MODELO B, para a análise da eficiência econômica da unidade que produz calçados femininos no estado do Ceará; iii) MODELO C, para a análise da eficiência econômica da unidade que produz calçados femininos no estado do Rio Grande do Sul, e; iv) MODELO D, para a análise da eficiência econômica da unidade que produz calçados mistos femininos e esportivos no estado do Ceará. Os modelos são detalhados na seção 4.3 junto com a apresentação da empresa estudada.

3.3.4.1 Eficiência Econômica (EE)

A análise de eficiência econômica pode ser conduzida por meio de três modelos: i) eficiência de custos (EC); ii) eficiência de receita (ER), e; iii) eficiência de lucro (EL). A empresa estudada possui o modelo de produção do tipo MTO. Logo, a produção excedente, caso essa exista, pode não ser absorvida pelo cliente. Deste modo, o modelo de eficiência econômica a ser utilizado será o de eficiência de custos (EC). O modelo de EC objetiva a minimização dos custos de produção levando em consideração o *mix* de *inputs* e seus respectivos preços. Esse modelo se justifica pelo fato de a empresa ter um maior controle sobre a entrada dos *inputs* do processo e seus respectivos preços e também pela necessidade de se reduzir os custos de produção, oferecendo um calçado com preço final atrativo para os clientes, podendo assim, melhorar seus níveis de competitividade.

3.3.4.2 Eficiência Técnica (ET)

Para a análise de eficiência técnica (ET) com DEA a literatura aponta dois modelos que são usados na aplicação da técnica. O primeiro é o CRS (*Constant*

Returns to Scale), apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que propõem uma abordagem orientada a entradas (*inputs*), recomendado quando o objetivo é comparar unidades de tomada de decisão (DMU) de variáveis com amplitudes similares. O segundo é o VRS (*Variable Returns to Scale*) apresentado por Charnes e Cooper (1984), em que uma DMU não pode ser comparada com todas as DMUs de um determinado setor, mas com as DMUs que operem em uma escala semelhante a sua, recomendado quando o objeto é comparar DMUs de variáveis com amplitudes diferentes. O modelo utilizado neste trabalho é o CRS, visto que é efetuada uma análise comparativa interna na empresa em estudo. Desta forma, a amplitude e escala das variáveis escolhidas são similares entre as DMUs, indicando a utilização do modelo CRS.

3.3.4.3 Eficiência Alocativa (EA)

Para o cálculo da eficiência alocativa (EA) será utilizado o cálculo da razão da eficiência econômica (EE) pela eficiência técnica (ET) (SILVA PORTELA; THANASSOULIS, 2014). A eficiência alocativa é representada na Equação 36.

$$Eficiência\ Alocativa\ (EA) = \frac{Eficiência\ Econômica\ (EE)}{Eficiência\ Técnica\ (ET)} \quad (36)$$

3.3.4.4 Eficiência Financeira Aberta (EFA)

O modelo DEA para o cálculo da eficiência financeira aberta (EFA) será o de eficiência técnica CRS orientado à *input*. Entretanto, as variáveis de *input* e *output* do modelo serão ponderadas pelos seus respectivos preços médios, ou seja, cada variável de quantidade e valor representará um único agregado.

3.3.4.5 Eficiência Financeira Fechada (EFF)

O modelo DEA para o cálculo da eficiência financeira fechada (EFF) será o de eficiência técnica CRS orientado à *input*. Entretanto, as variáveis de *input* e *output* do modelo serão ponderadas pelos seus respectivos preços médios e somadas. Nesse sentido, o modelo EFF será composto de duas variáveis, um *input* e um *output*.

3.3.4.6 Razão (RZ)

Para a medida da razão (RZ) foi utilizada a relação da soma dos outputs pela soma dos inputs multiplicados pelos respectivos preços médios. Nesse sentido, para esta medida não foi utilizada a técnica DEA para cálculo de eficiência. A razão é representada pela Equação 37.

$$Razão (RZ) = \frac{\sum_{i=1}^n output * preço\ médio}{\sum_{i=1}^n input * preço\ médio} \quad (37)$$

3.3.5 Definição da orientação para os modelos DEA (*input* ou *output*)

A orientação do modelo será a *input*, visto que, o objetivo desta pesquisa será a identificação do melhor *mix* de *inputs* que irão reduzir os custos produtivos da DMU em análise. Como o sistema de manufatura da empresa estudada é sob encomenda, uma orientação a *output* é indesejável, visto que, os produtos que excederem o pedido de produção podem não ser absorvidos pelo cliente.

3.3.6 Síntese dos modelos avaliados

O Quadro 15 apresenta a síntese dos modelos avaliados. São apresentados o modelo, tipo de calçado, localidade da unidade fabril, o número de DMUs, número de *inputs*, número de *outputs* e a orientação do modelo DEA.

Quadro 15: Síntese dos modelos avaliados

Modelo	Tipo de Calçado	Localidade	Número de DMUs	Número de <i>inputs</i>	Número de <i>outputs</i>	Orientação do modelo DEA
MODELO A	Esportivo	Bahia / Ceará	60	10	1	<i>Input</i>
MODELO B	Feminino	Ceará	30	10	1	<i>Input</i>
MODELO C	Feminino	Rio Grande do Sul	30	10	1	<i>Input</i>
MODELO D	Feminino/Esportivo	Ceará	30	10	1	<i>Input</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O Quadro 16 apresenta a síntese dos modelos DEA. Para cada modelo em análise são apresentados o modelo de eficiência econômica, eficiência técnica, eficiência alocativa, eficiência financeira aberta, eficiência financeira fechada e a razão.

Quadro 16: Síntese das eficiências dos modelos avaliados

Modelo	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta	Eficiência Financeira Fechada	Razão
MODELO A	<i>Cost</i>	CRS	$AE = EE / ET$	CRS	CRS	$\Sigma O / \Sigma I$
MODELO B	<i>Cost</i>	CRS	$AE = EE / ET$	CRS	CRS	$\Sigma O / \Sigma I$
MODELO C	<i>Cost</i>	CRS	$AE = EE / ET$	CRS	CRS	$\Sigma O / \Sigma I$
MODELO D	<i>Cost</i>	CRS	$AE = EE / ET$	CRS	CRS	$\Sigma O / \Sigma I$

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Após a síntese dos modelos é apresentada a seção de coleta de dados. Nesta seção são apresentadas as fontes e técnicas utilizadas neste trabalho.

3.4 COLETA DOS DADOS

Nesta seção são apresentados os procedimentos que serão utilizados para coleta de dados. Ao testar ou construir teorias a partir de estudos de caso, os pesquisadores devem ter foco claro para coletar dados específicos de maneira sistemática (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007). Apesar de as questões de pesquisa evoluírem ao longo do trabalho, deve-se manter o foco e a coerência ao longo da coleta e análise de dados (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015; DYER; WILKINS, 1991; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

A etapa de coleta dos dados é fundamental para garantir a operacionalização dos métodos de pesquisa e do método de trabalho definido pelo pesquisador (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Para viabilizar esta etapa será realizado um contato inicial com o diretor industrial para autorizar a condução da coleta de dados da pesquisa e sugerir quais os especialistas ou respondentes principais que devem ser entrevistados. A importância de contatar um executivo sênior é reforçada por Piran, Lacerda e Camargo (2018) para facilitar a interação entre às áreas envolvidas, a fim de permitir o acesso aos dados e resolver impasses, caso ocorram. Assim, o planejamento será realizado por meio de uma reunião com os especialistas no processo, com objetivo de definir: i) as fontes de coletas de dados; ii) o período de coleta dos dados, e; iii) as formas de mascaramento dos dados para preservar as informações da empresa em estudo.

A técnica de coleta de dados documental costuma ser o primeiro passo para operacionalizar uma pesquisa, pois permite coletar informações prévias sobre tópicos que serão pesquisados. As fontes documentais são significativamente numerosas, uma vez que qualquer elemento portador de dados pode ser considerado como documento (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Nesta etapa serão verificados os documentos de trabalho da empresa que de alguma forma estejam associados ao processo de manufatura do calçado. Entre os documentos analisados, a eficiência técnica do sistema de manufatura será essencial para estabelecer comparativos entre os níveis de eficiência técnica medidos pela empresa e os níveis de eficiência econômica que serão calculados pela Análise Envoltória de Dados (DEA).

Após o levantamento das informações para compor as variáveis do modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA), de acordo com as sugestões do grupo de especialistas, se iniciará a análise e interpretação dos dados. Esta etapa ocorrerá com base na pesquisa documental, que se vale principalmente de dados quantitativos, obtidos sob forma de registros, tabelas, gráficos ou banco de dados, o processo analítico envolve procedimentos estatísticos. Quanto aos documentos que se referem a textos, anotações de campo realizadas, comunicação não verbal, como gestos e posturas, o procedimento analítico mais utilizado é a análise de conteúdo (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). As técnicas, fontes de dados e informações que serão coletadas e utilizadas nesta pesquisa são apresentadas no Quadro 17.

Quadro 17: Técnicas, fontes e informações

Técnica	Fonte	Informações coletadas
Documental	Sistema ERP utilizado pela Empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de produtos produzidos; • Quantidade de matéria-prima utilizada; • Preço dos insumos; • Mão-de-obra direta e indireta; • Faturamento.
Documental	Documentos da Empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Número de funcionários; • Resultado econômico das unidades produtivas.
Entrevistas	Especialistas da Empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Auxiliar na definição das variáveis do modelo DEA; • Auxiliar na definição da orientação do modelo DEA; • Auxiliar na definição das DMUs; • Definir as fontes de coleta de dados; • Definir o período de coleta de dados; • Definir a forma de mascarar os dados.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para as entrevistas, é importante o pesquisador desenvolver a capacidade de fazer questões adequadas aos objetivos do trabalho e interpretar as respostas; ser um bom ouvinte e não trazer nenhum tipo de preconceito; estar embasado teoricamente no tema; ser receptível e sensível a evidências contraditórias; ser adaptável e flexível à novas situações não previstas e vê-las como oportunidades e não como ameaças (YIN, 2001). As entrevistas serão realizadas em local e horário pré-definido. Quanto ao registro dos dados, existem várias formas de fazê-los. Para esta pesquisa, mediante autorização prévia do entrevistado, será priorizada a utilização de um gravador digital de áudio para melhoria na precisão da análise posterior. O uso do gravador pode ser considerado como “intrusivo” por alguns entrevistados e inibir a vontade de expressar suas opiniões e caberá ao pesquisador demonstrar a relevância do seu uso (MIGUEL et al., 2012). Outra forma de realizar os registros utilizada são as anotações de campo, onde o pesquisador toma notas dos registros no momento em que ocorrerem ou se não for possível tão logo quando possível para evitar a perda de informações importantes.

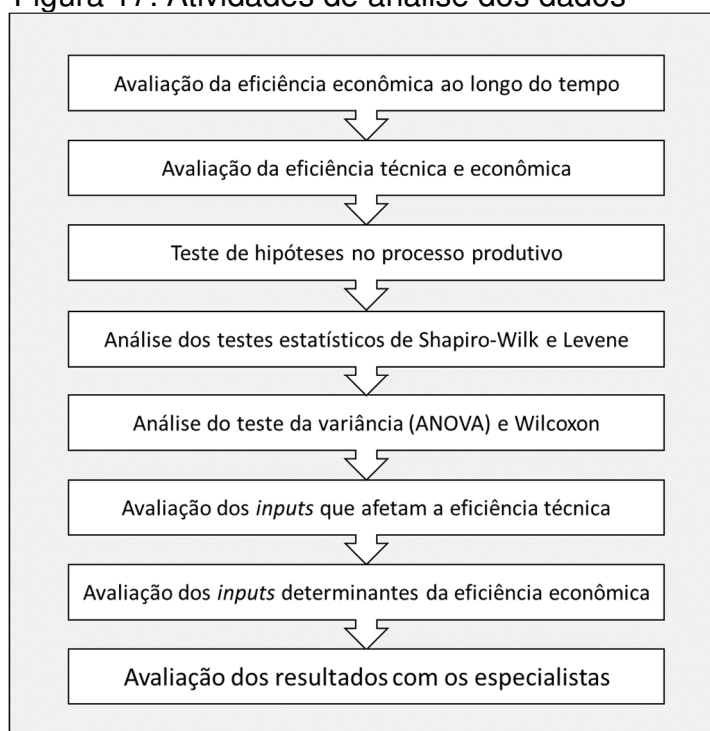
Miguel et al. (2012) apontam que a coleta de dados deve ser dada como concluída quando se atingir a “saturação teórica”, ou seja, quando a coleta de dados adicionais não acrescenta nenhuma informação relevante e se considera que os dados são suficientes para a questão de pesquisa proposta. Inicialmente, foi realizada uma reunião com o diretor industrial para expor a proposta do projeto de pesquisa, o cronograma das atividades, autorizar a coleta dos dados e sugerir os especialistas que pudessem participar. Em seguida foi realizada uma reunião com os especialistas (apresentados no Quadro 11). Nesse encontro foi apresentada a proposta do projeto de pesquisa, o cronograma de trabalho, onde serão discutidas as orientações para a coleta de dados, o período de análise e a proposta a definição do modelo DEA apresentado na seção anterior. Na próxima seção serão apresentadas as etapas que serão utilizadas para a análise dos dados.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta de dados, definido o período e produtos a serem analisados inicia a análise dos dados. Nesta etapa, serão realizadas as atividades da Figura 17. Para

desenvolver a análise dos dados, cabe ao pesquisador categorizar, classificar em tabelas, testar ou recombina as evidências quantitativas e qualitativas para tratar as proposições iniciais do estudo (YIN, 2001). Logo, após o levantamento dos dados, foi iniciado o processo de avaliação. Os dados obtidos foram organizados em uma planilha eletrônica para o cálculo do desempenho de cada DMU. Nesta etapa foi utilizado o método MMDEA desenvolvido por Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Figura 17: Atividades de análise dos dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para o cálculo da eficiência econômica foi utilizado o *software* PIM-DEAsoft *Version 3*. O PIM-DEA *Version 3* é um *software* desenvolvido por Ali Emrouznejad (EMROUZNEJAD; YANG, 2018) e Emmanuel Thanassoulis (THANASSOULIS; SILVA; GRAVENEY, 2016) ambos professores da *Aston Business School, Aston University Birmingham*, Inglaterra. O programa permite os cálculos de eficiência técnica, econômica e alocativa apresentando opções para as análises de eficiência com DEA como: i) modelos CRS padrão e VRS DEA que envolvem o cálculo de eficiências técnicas e de escala (quando aplicável); ii) a extensão dos modelos acima para contabilizar eficiências de custo e alocativa, e; iii) a aplicação dos métodos Malmquist DEA aos dados de painel para calcular os índices de mudança da Produtividade Total dos Fatores (TFP), mudança tecnológica, mudança de eficiência

técnica e mudança de eficiência de escala e entre outros como supereficiência. Todos os métodos estão disponíveis em uma orientação a *input* ou *output*. Os resultados gerados pelo programa incluem, quando aplicável, estimativas técnicas, de escala, alocativas e de eficiência de custos, folgas, pares e índices de TFP. Além disso, o software apresenta uma interface gráfica para a análise de dados e um pacote de estatística para as análises comparativas. O *software* PIM-DEA *Version 3* encontra-se disponível em < <http://www.deasoftware.co.uk>>.

Posteriormente, com o resultado das eficiências para cada um dos três modelos DEA, as hipóteses a serem testadas para rejeitar ou aceitar estatisticamente as evidências de que há ou não diferença entre os escores de eficiência técnica e econômica são desenvolvidos. O Quadro 18 apresenta às hipóteses testadas.

Quadro 18: Modelos e hipóteses testadas

Modelos	Análise	Hipótese testada
MODELO A, B, C, D	Eficiência Econômica x Eficiência Técnica	H_{1a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência técnica observada pela DEA.
		H_{1b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência técnica observada pela DEA.
	Eficiência Econômica x Eficiência Alocativa	H_{2a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência alocativa observada pela DEA.
		H_{2b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência alocativa observada pela DEA.
	Eficiência Econômica x Eficiência Financeira Aberta	H_{3a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira aberta observada pela DEA.
		H_{3b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira aberta observada pela DEA.
	Eficiência Econômica x Eficiência	H_{4a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira fechada observada pela DEA.

Modelos	Análise	Hipótese testada
	Financeira Fechada	H_{4b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira fechada observada pela DEA.
	Eficiência Econômica x Razão	H_{5a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida observada pela DEA difere se comparada com a razão da soma ponderada pelos preços dos outputs pelos inputs.
		H_{5b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida observada pela DEA difere se comparada com a razão da soma ponderada pelos preços dos outputs pelos inputs.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com os resultados das eficiências calculadas foi iniciado o processo de análises estatísticas, no qual foram efetuados o teste de Shapiro Wilk e Levene (considerados pressupostos para utilização da ANOVA) para verificar se os dados relativos à série de eficiência obtida nos cálculos são provenientes de uma distribuição normal e homogêneos (HAIR et al., 2009). Não sendo normais os dados são submetidos ao teste não paramétrico de Wilcoxon, para verificar se existem diferenças significativas entre as médias dos grupos de eficiência técnicas e econômica.

Para as análises estatísticas dos resultados também foi utilizado o PIM-DEA. Na próxima seção será realizada uma breve apresentação das principais técnicas estatísticas que serão utilizadas neste trabalho.

3.5.1 Análises Estatísticas

Observa-se um aumento significativo na disponibilidade dos mais diversos tipos de dados nas empresas. Com o auxílio de novas tecnologias, principalmente, as do campo da informática, muitas das informações que antes não eram coletadas ou simplesmente descartadas, estão sendo coletadas e armazenadas em bancos de dados, estando disponíveis para serem transformados em informação para auxiliar os tomadores de decisão. Parte dessas informações podem ser analisadas e compreendidas com estatística simples, mas parte demanda técnicas estatísticas multivariadas mais complexas para converter os dados em conhecimento compreensível (HAIR et al., 2009).

As técnicas de análise multivariada permitem que os dados armazenados pelas empresas possam ser transformados em conhecimento, levando a melhores decisões. Exemplos de sua aplicação podem ser identificadas em indústrias com processos de fabricação em lote, a fim de avaliar a reprodutibilidade e em procedimentos estatísticos para estudo da homogeneidade de variâncias (HAIR et al., 2009).

A análise multivariada refere-se ao conjunto de técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre os objetos de investigação. Deste modo, qualquer análise simultânea de duas ou mais variáveis pode ser considerada, a princípio, como multivariada (BROWN; FORSYTHE, 1974; HAIR et al., 2009). Nesta pesquisa os escores de eficiência econômica calculados pela Análise Envoltória de Dados (DEA) são submetidos a análises estatísticas. Um maior aprofundamento das análises estatísticas utilizadas neste trabalho é apresentado nas seções a seguir.

3.5.1.1 Teste de Shapiro-Wilk

O teste proposto por Samuel Sanford Shapiro e Martin Bradbury Wilk (1965) foi o primeiro capaz de detectar as saídas da normalidade devido à obliquidade ou à curtose (medida de forma que caracteriza o achatamento da curva da função de distribuição de probabilidade), ou ambas. Esse novo procedimento estatístico para testar a normalidade de uma amostra completa tornou-se amplamente conhecido e aplicado, sendo considerado como um dos procedimentos mais comuns e disponíveis na maioria dos softwares estatísticos atuais (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012).

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk é uma adaptação do teste de Kolmogorov-Smirnov (teste KS ou teste K-S) com propósito de calcular o nível de significância para as diferenças em relação a uma distribuição normal (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012; HAIR et al., 2009). Este teste, assim como outros testes de significância, é menos útil em amostras menores de 30 e muito sensível em amostras que excedem 1.000 observações (HAIR et al., 2009).

Dada uma amostra ordenada $y_1 < y_2 < \dots < y_n$, o teste estatístico Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) é definido por meio da equação (36).

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

Em que:

y_i = ordem das amostras

\bar{y} = média das amostras

a_i = valores esperados da ordem das amostras estatísticas das variáveis aleatórias independentes e distribuídas por igual às amostradas da distribuição normal

O teste Shapiro-Wilk pode ser avaliado por W ou p -valor. O valor de W pode situar-se entre zero e um, pequenos valores de W levam à rejeição da normalidade enquanto que um valor de um indica a normalidade dos dados (RAZALI; WAH, 2011). O teste compara os escores da amostra a um conjunto normalmente distribuído de pontuações com a mesma média e desvio padrão. Se o teste não for significativo ($p > 0,05$), a distribuição da amostra não é significativamente diferente de uma distribuição normal. Se, no entanto, o teste é significativo ($p < 0,05$), então a distribuição em questão é significativamente diferente de uma distribuição normal (ou seja, não é normal) (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012). Na próxima seção, são apresentados os conceitos referentes ao teste de Levene.

3.5.1.2 Teste de Levene

Os testes estatísticos, em parte, objetivam abordar a questão de variância de médias, ou seja, em saber se as variações de k amostras são iguais. Existem testes que podem analisar esta questão, porém vários deles dependem da suposição da normalidade e não são robustos. O professor Howard Levene propôs em 1960 uma nova abordagem para este problema, aplicando o teste F aos desvios absolutos às médias das observações de cada grupo. A nova abordagem tornou-se uma poderosa e robusta análise da não-normalidade, além de ser popularmente reconhecida como uma ferramenta para verificar a homogeneidade de variâncias (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012; GASTWIRTH; GEL; MIAO, 2009).

Hair et al. (2009) e Field, Miles, Field (2012) Apontam que a presença de variâncias desiguais (heteroscedasticidade) é considerada uma das violações mais comuns de suposições, sendo que, essa constatação pode ser pela análise dos gráficos de resíduos ou testes estatísticos simples. O teste de Levene fornece uma

análise para homogeneidade de variância, que mede a igualdade de variâncias para um par de variáveis. Seu uso é recomendado porque é menos afetado por desvios da normalidade, outro problema comum em regressão (HAIR et al., 2009).

Levene inicialmente propôs o método para amostras iguais, mas posteriormente foi generalizado para amostras de tamanhos desiguais. A estatística é obtida a partir da aplicação do *one-way* ANOVA entre os grupos, no qual cada observação é substituída pelo desvio absoluto da média de cada grupo. Para amostras muito pequenas a elevada correlação entre os desvios do mesmo grupo destrói e invalida do teste. Contudo, em amostras com dez ou mais observações por grupo este problema não ocorre (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012; GASTWIRTH; GEL; MIAO, 2009).

Os testes estatísticos para igual dispersão de variâncias avaliam a igualdade de variâncias existentes dentro de grupos formados por variáveis não-métricas. Nestes casos o teste de Levene é usado para avaliar se as variâncias de uma variável métrica são iguais em qualquer número de grupos (HAIR et al., 2009). A facilidade para aplicação do teste fez com que se tornasse popular e utilizado em pesquisas relacionadas às mudanças climáticas, geologia, qualidade de alimentos, negócios empresariais, genética, medicina, esportes entre outros (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012; GASTWIRTH; GEL; MIAO, 2009; HAIR et al., 2009).

No teste de Levene e Shapiro-Wilk, quando a hipótese nula H_0 for verdadeira indica que os dados são provenientes de uma distribuição normal e são homogêneos, respectivamente. Assim, a condição para aceitabilidade que valida as hipóteses H_0 e H_1 é dependente do valor de significância obtido no teste, que para ser significativo deve ser maior ou igual a 0,05 (Sign. $\geq 0,05$) (HAIR et al., 2009).

3.5.1.3 Análise de Variância (ANOVA)

A técnica estatística análise de variância (ANOVA) é usada para determinar se as amostras de dois ou mais grupos surgem de populações com médias iguais, ou seja, se as médias dos grupos diferem significativamente. A análise de variância faz múltiplas comparações de grupos de tratamento, determinando em um único teste se o conjunto inteiro de médias de amostras sugere que as amostras foram obtidas a partir da mesma população geral, ou seja, sendo empregada para determinar probabilidades de que diferenças em médias ao longo de diversos grupos ocorrem

apenas devido a erro amostral. Assim, a análise de variância examina uma medida dependente, ao passo que a análise multivariada de variância compara as diferenças de grupos quanto a duas ou mais variáveis dependentes existentes (ANDY FIELD; MILES; FIELD, 2012; HAIR et al., 2009).

Para utilizar esta técnica existe uma exigência de tamanho de amostra, para cada grupo é recomendado uma amostra de aproximadamente 20 observações. Desse modo, aumentar o número de níveis em qualquer fator demanda um aumento do tamanho da amostra (HAIR et al., 2009). O procedimento para utilização, como o próprio nome sugere (análise de variância) propõem que duas estimativas independentes da variância para a variável dependente sejam comparadas. A primeira reflete a variabilidade geral de respondentes dentro dos grupos (MS_W), e a segunda representa as diferenças entre grupos atribuíveis aos efeitos de tratamento (MS_B). Assim, tem-se o Quadro 19.

Quadro 19: Estimativa de variâncias existentes no teste estatístico ANOVA

Estimativa de variância entre os grupos (MS_W)	Essa estimativa de variabilidade de média dos respondentes quanto à variável dependente dentro de um grupo de tratamento é baseada em desvios de escores individuais a partir de suas respectivas médias de grupo. O valor MS_W é chamado muitas vezes de variância de erro.
Estimativa de variância entre os grupos (MS_B)	Essa estimativa é a variabilidade das médias de grupos de tratamento quanto à variável dependente. É baseada em desvios de médias de grupos a partir da média geral de todos os escores. Sob a hipótese nula de inexistência de efeitos de tratamento ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$) essa estimativa de variância reflete diferenças em médias e aumentam.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hair et al. (2009, p. 309).

O cálculo da estatística F é obtido pela razão entre MS_B e MS_W , conforme demonstrado na equação (37).

$$\text{Estatística } F = \frac{MS_b}{MS_w} \quad (37)$$

Esta medida representa o quanto de variância é atribuível aos diferentes tratamentos versus a variância esperada a partir de amostragem aleatória. Como as diferenças em médias aumentam o valor esperado da MS_B , elevados valores da estatística F levam à rejeição da hipótese nula de inexistência de diferença em médias dos grupos (HAIR et al., 2009).

Para interpretar o resultado da estatística F e verificar se é suficientemente elevado para justificar a rejeição da hipótese nula (que significa que as diferenças estão presente entre os grupos) sugere-se os passos: i) Determinar o valor crítico para a estatística F (F_{crit}), usando a distribuição F com $(k - 1)$ e $(N - k)$ graus de liberdade para um nível especificado de α ; ii) Calcule a estatística F ou encontre o valor F calculado pelo programa de computador; iii) Se o valor calculado da estatística F exceder F_{crit} , concluir que as médias ao longo de todos os grupos não são todas iguais (HAIR et al., 2009). (HAIR et al., 2009).

Assim, quando a hipótese nula H_0 é verdadeira, indica que não existe diferença entre as médias das amostras. O valor p -value é a condição que valida as hipóteses H_0 e H_1 , sendo considerado significativo um p -value menor ou igual a 0,05 (p -value \leq 0,05). Quanto maior o escore de F , pode-se afirmar que mais significativo é o p -value do teste ANOVA efetuado (HAIR et al., 2009).

3.5.1.4 Teste de Wilcoxon

O teste de Wilcoxon, também conhecido como teste dos postos sinalizados de Wilcoxon, é um teste de hipóteses não paramétrico utilizado para comparação de duas amostras pareadas quando se pretende comparar a medida de tendência central da população em estudo, uma vez que quando sua distribuição não é normal a tendência central é a mediana. O objetivo do teste de Wilcoxon é comparar as performances de cada elemento no sentido de verificar se existem diferenças significativas entre seus resultados nas duas situações analisadas (DALGAARD, 2008; WILCOXON, 1946). Para sua utilização, alguns pressupostos precisam ser respeitados (SIEGEL, 1956): I) os dados são pareados e provem da mesma população; II) cada par é escolhido aleatoriamente e de forma independente e; III) os dados são medidos pelo menos em uma escala ordinal (não podem ser nominais). O Quadro 20 sintetiza os testes a serem utilizados.

Quadro 20: Síntese das análises estatísticas efetuadas

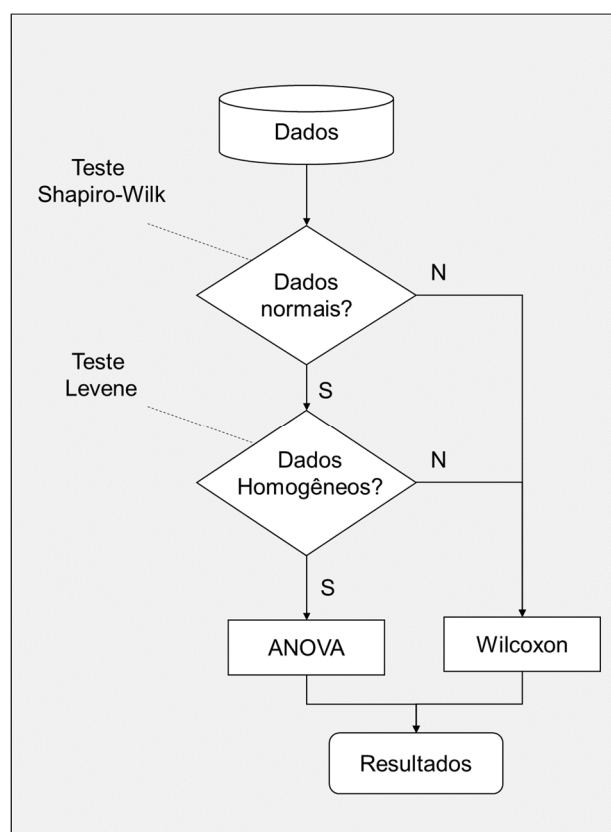
Análise	Objetivo	Condições	Parâmetros de aceitabilidade
Shapiro-Wilk	Avaliar se os dados referentes aos escores da eficiência composta são provenientes de uma distribuição normal	H₀ : Os dados são normais H₁ : Os dados não são normais	Sign. $\geq 0,05$
Levene	Avaliar se os dados referentes aos escores de eficiência técnica e econômica são homogêneos	H₀ : Os dados são homogêneos H₁ : Os dados não são homogêneos	Sign. $\geq 0,05$
Anova	Avaliar se existe diferença significativa entre as médias dos grupos de eficiência técnica e eficiência econômica	H₀ : Não existem diferenças significativas entre as médias dos grupos de eficiência técnica e econômica H₁ : Existem diferenças significativas entre as médias dos grupos de eficiência técnica e econômica	$p\text{-value} \leq 0,05$
Wilcoxon	Avaliar se existe diferença significativa entre as médias dos grupos de eficiência técnica e eficiência econômica	H₀ : Não existem diferenças significativas entre as médias dos grupos de eficiência técnica e econômica H₁ : Existem diferenças significativas entre as médias dos grupos de eficiência técnica e econômica	$p\text{-value} \leq 0,05$

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Destaca-se que o teste de Shapiro Wilk e Levene servirá para viabilizar ou não a utilização da ANOVA. No caso do teste ANOVA, este servirá para testar a hipótese principal deste trabalho, que é verificar se existem diferenças significativas entre as médias dos grupos de eficiência técnica e eficiência econômica das unidades de análise. O teste de Wilcoxon será utilizado caso os dados não se apresentem distribuídos normalmente.

Inicialmente foram aplicados os testes considerados pressupostos para utilização da ANOVA, como Shapiro Wilk e Levene, a fim de verificar se os dados obtidos são provenientes de uma distribuição normal e homogênea (HAIR et al., 2009), e do contrário é realizada a aplicação do teste não paramétrico Wilcoxon. Para identificar se existem diferenças significativas entre as médias entre a eficiência técnica e econômica é realizado o teste ANOVA. Este teste faz múltiplas comparações de grupos de tratamento, determinando se o conjunto inteiro de médias de amostras sugere que as amostras foram obtidas a partir da mesma população geral (HAIR et al., 2009). Os testes estatísticos seguirão o fluxograma apresentado na Figura 18.

Figura 18: Processo de análises estatísticas



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na próxima seção, são descritas as delimitações do trabalho.

3.6 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Com o objetivo de tornar claros e explícitos a abrangência e o escopo deste trabalho, nesta seção são apresentadas as delimitações da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar a eficiência econômica em uma indústria calçadista.

O trabalho avaliou somente as mudanças relacionadas ao processo de manufatura. Demais modificações, tais como mudanças de gestão, fatores externos da empresa, como fatores de mercado, não foram considerados na pesquisa. As mudanças gerenciais ou renovação do quadro funcional não foram consideradas, pois, a empresa não apresentou mudanças significativas de gestão no período proposto de análise.

Foram avaliados quatro modelos de eficiência econômica: i) o modelo A, correspondente à análise do negócio esportivo; ii) modelo B, correspondente a unidade de negócio feminino um; iii) modelo C, correspondente a unidade de negócio

feminino dois, e; iv) modelo D, correspondente a unidade de negócio mista, ou seja, feminino e esportivo. Este trabalho avaliou as cinco unidades produtivas. Destaca-se que o pesquisador visitou as unidades produtivas e pôde observar as diferenças do processo produtivo, causadas prioritariamente devido à família produtos desenvolvidos e produzidos. Descrever e analisar essas diferenças, no entanto, está fora do escopo deste trabalho. A análise foi realizada para os modelos de negócios (esportivo e feminino) considerando a produção individualizada de cada unidade.

Para mensuração da eficiência, foi considerada a técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA), outras técnicas que também se propõem a medir a eficiência não são abordadas. Na análise dos resultados, o trabalho pretende identificar as principais diferenças entre as eficiências técnica e econômica para cada modelo que impactam no sistema de manufatura da unidade fabril em análise. No próximo capítulo é apresentada a empresa que as atividades desta pesquisa.

4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ANALISADA

A presente pesquisa é realizada em uma empresa fabricante de calçados. Fundada em 1945, a organização possui cinco unidades de produção, uma localizada na cidade de Sapiranga, no estado do Rio Grande do Sul, uma na cidade de Ipirá, no estado da Bahia e outras três nas cidades de Itapajé, Pentecoste e Uruburetama, no estado do Ceará. No município de Sapiranga está localizada a matriz da empresa. Entre as cinco unidades de produção são produzidos aproximadamente oito milhões de pares de calçados distribuídos entre os negócios feminino e esportivo. Na unidade matriz estão localizados o centro administrativo da empresa, área comercial, as áreas de planejamento e controle da produção e o desenvolvimento artístico e técnico dos produtos, a Figura 19 apresenta a distribuição das unidades produtivas da empresa.

Figura 19: Distribuição das unidades produtivas da empresa



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A organização conta com aproximadamente 12.400 colaboradores e produz, em média 35 mil pares de calçados/dia para atender o mercado interno brasileiro e o mercado externo. No mercado externo destacam-se como principais destinos os EUA e a Europa. Um dos principais modelos de negócio da empresa é a produção de calçados do tipo *Private Label*, ou seja, em que a empresa produz um determinado produto que leva a marca do cliente contratante.

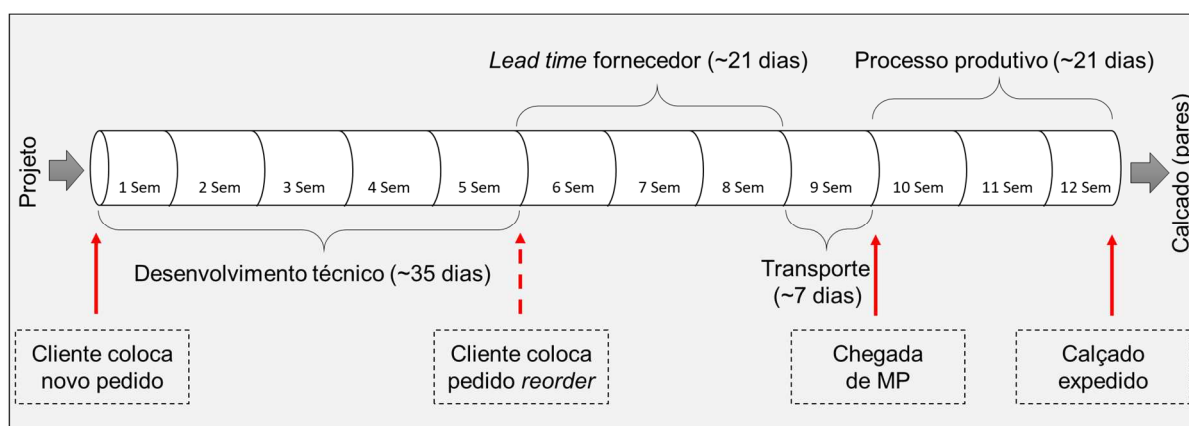
O *Private Label* representa 85% da produção anual de calçados. Os 15% restantes são referentes a produção de marcas próprias. No *Private Label* a empresa recebe o projeto completo do cliente, com especificações de matérias-primas e indicações de fornecedores, nacionais e internacionais. O processo de desenvolvimento técnico realiza a modelagem do produto com o acompanhamento do cliente e em alguns casos são feitas alterações no projeto original, em comum acordo com o cliente, de matérias-primas e fornecedores, com o objetivo de manter a qualidade esperada do produto.

O fluxo inicia com o recebimento o desenho do estilista e que após é transformado em um pé físico, chamado de protótipo. O protótipo é enviado para a análise e aprovação do cliente. Com a aprovação do cliente é liberado primeiro lote de produção que tem como objetivo avaliar o comportamento do modelo desenvolvido em um fluxo de produção contínuo, que após concluído segue para a aprovação do cliente.

Nas marcas próprias o produto tem o desenvolvimento artístico elaborado pelo time de estilistas da empresa. Em relação ao *Private Label*, os produtos de marca própria apresentam vantagens por terem uma maior flexibilidade na seleção de matérias-primas e seus fornecedores, tornando-se produtos competitivos em seus segmentos.

Da colocação de um novo projeto pelo cliente à expedição do calçado produzido, a empresa tem em média, um *lead time* de 12 semanas. Esse *lead time* é composto pelo: i) processo de desenvolvimento técnico; ii) processo produtivo do fornecedor; iii) transporte da matéria-prima, e; iv) o processo produtivo do calçado. Para novos pedidos, como o de um projeto já existente (*reorder*), o *lead time* para atendimento é de aproximadamente 7 semanas, visto que, neste caso o desenvolvimento técnico é uma etapa já concluída. A Figura 20 apresenta o fluxo completo da produção do calçado da empresa estudada.

Figura 20: Fluxo completo da produção do calçado



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O processo de desenvolvimento técnico é o processo de concepção do protótipo (pé físico) e adaptação do produto para as fases posteriores da manufatura e tem em média um *lead time* de 5 semanas. Nesta etapa são aprovadas as matérias-primas que serão utilizadas, os processos produtivos e o roteiro de produção. Além disso, é nesta etapa em que são ajustados e liberados os ferramentais como formas, navalhas e equipamentos produtivos. Com o conjunto de informações do desenvolvimento artístico e desenvolvimento técnico são construídos modelos reais e funcionais onde são adaptados para a construção em escala produtiva considerando as grades de numeração disponibilizadas pelo cliente. Após a conclusão do processo de desenvolvimento técnico é então consolidada a ficha técnica do modelo do calçado desenvolvido e enviado para a aprovação final do cliente.

Com a liberação da ficha técnica e o cadastro de todos os itens do calçado pelo desenvolvimento técnico, o modelo é então liberado para a equipe de planejamento, programação e controle de produção (PPCP) para o cadastro do pedido no sistema de ERP da empresa. Após o cadastro do pedido são geradas as ordens de compras (OC) de matérias-primas e enviadas aos respectivos fornecedores. O fornecedor tem em média o *lead time* de 3 semanas para a produção dos materiais.

Os materiais produzidos pelos fornecedores localizados no Rio Grande do Sul são recebidos e revisados pelo almoxarifado central localizado na unidade matriz, onde as cargas são consolidadas e despachadas para as demais unidades produtivas. Para os fornecedores, fora do estado do Rio Grande do Sul, o fluxo de entrega dos materiais ocorre direto para as unidades de produção. O transporte da matéria-prima tem em média o *lead time* de uma semana e ocorre preferencialmente pelo modal

rodoviário. Casos de exceção, em que há atraso na entrega, por exemplo, utiliza-se o modal aéreo. Entretanto, a empresa evita a utilização deste modal devido ao elevado custo em comparação ao modal rodoviário.

Com o recebimento da matéria-prima pela unidade produtiva, tem-se início o processo produtivo do calçado. O *lead time* deste processo é de aproximadamente 3 semanas e é composto pelos macroprocessos de corte, costura e montagem. Cada macroprocesso será apresentado a seguir na seção 4.2.

Além da manufatura de calçados, a empresa estudada compõe um grupo empresarial que possui negócios diversificados, atuando nos segmentos de varejo de calçados e acessórios, em que é dona de duas redes de lojas, uma no estado do Rio Grande do Sul e outra predominante em estados do Nordeste. E, também, no segmento de empreendimentos imobiliários e administração de cartão de créditos.

O varejo das marcas próprias desenvolvidas e produzidas pela empresa está presente em mais de 18 países distribuídos na América do Sul, América do Norte, África e Oriente Médio. A próxima seção apresenta a caracterização dos produtos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS

Em geral os calçados podem ser classificados de diversas maneiras, entre elas i) quanto ao tipo de cabedal entre calçados abertos ou fechados; ii) ao uso que se destinam: calçados sociais, esportivos, de segurança do trabalho, de praia, *outdoor*, entre outros, e; iii) quanto ao modelo: mocassim, tênis, bota, scarpin, *chanel*, sandália, chinelo, Luis XV, *pumps*, *peep toes*, entre outros. Cada um destes modelos de calçados possui características próprias tanto de estética quanto técnicas, sendo estas muito importantes para obter um bom calce, estabilidade e conforto aos pés (ALI, 2018; ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016). Nesta pesquisa os calçados produzidos pela empresa estudada são classificados conforme o público alvo em feminino e esportivo.

A norma ABNT 15172:2014 - Calçados - Terminologia, estabelece os termos empregados para calçados. Entre os termos e definições, estão as regiões do pé, componentes do calçado, bem como a denominação dos tipos de calçados com uma breve descrição de cada modelo. De modo geral, se pode encontrar de 20 a 25 partes ou componentes em um calçado divididas em duas partes específicas: i) a parte superior, denominada de cabedal, e; ii) da parte inferior, denominada de solado,

também conhecido como construção do calçado. Cada uma dessas partes é composta de uma série de outros elementos, com características que variam em função do produto e conforme o tipo e ao uso que se destina (ALI, 2018; ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016).

4.1.1 Construção superior

A parte superior do calçado é chamada de cabedal, cuja função é cobrir e proteger os pés, constituído de várias peças e reforços, com objetivo de proporcionar mais firmeza e proteção para a região superior do pé (ALI, 2018; ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016). Os principais materiais que podem ser utilizados na fabricação do calçado, na região do cabedal são: materiais têxteis, sintéticos e couros. A região do cabedal pode ser dividida ainda em: biqueira, gáspea, laterais, traseiro e entre outras peças.

Quadro 21: Componentes do cabedal

Peças do cabedal	Descrição
Couraça	Tem finalidade de proporcionar cópia fiel do bico da fôrma e mantê-lo inalterado, protegendo os dedos, com aplicação entre o forro e cabedal, além de ajudar a travar o alongamento do couro quando no processo de montagem do bico.
Contraforte	Tem a finalidade de dar forma à parte traseira do calçado com a função de manter a estabilidade do pé durante o caminhar. Sua aplicação é feita entre o cabedal e o forro.
Forro	Utilizado no lado interno do calçado como revestimento com finalidade de proporcionar conforto, absorção da umidade ou até mesmo como acabamento do produto. Pode-se utilizar materiais têxteis, couro, não-tecidos ou sintéticos.
Reforço	Nesse tipo de material podem ser utilizados materiais de dublagem em algodão, poliéster, poliamida no caso de tecido e fibra de polipropileno no caso de não tecido. Há ainda, aplicações de fitas de reforços em bordas do calçado, para evitar o estiramento do material durante a montagem do calçado, garantindo ainda que evite o efeito de “abrir boca” durante o uso.
Costuras	Tem como objetivo unir e fixar as peças, com prévia aplicação de adesivo ou ser preparadas e costuradas diretamente, além de usá-la como adorno.
Componentes metálicos	São peças metálicas utilizadas no cabedal com finalidade de unir tiras de fechamento do calçado ou utilizá-las como adorno. Dentre estas peças podem-se encontrar: fivelas, enfeites, argolas, botões, chapas, ilhoses e rebites, geralmente fabricados em latão.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em (ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016).

Na empresa estudada os calçados do tipo feminino utilizam o cabedal predominantemente de couro e os calçados esportivos o sintético e o têxtil. Os principais componentes do cabedal são apresentados no Quadro 21 acima. No próximo item desta seção é apresentada a parte inferior do calçado e seus principais componentes.

4.1.2 Construção inferior

Também chamado de solado, a construção inferior é a denominação de toda a parte inferior do calçado, com a função de dar sustentação, conforto e proteger os pés da irregularidade do solo. As peças que compõem a região inferior do calçado são apresentadas no Quadro 22.

Quadro 22: Componentes do solado

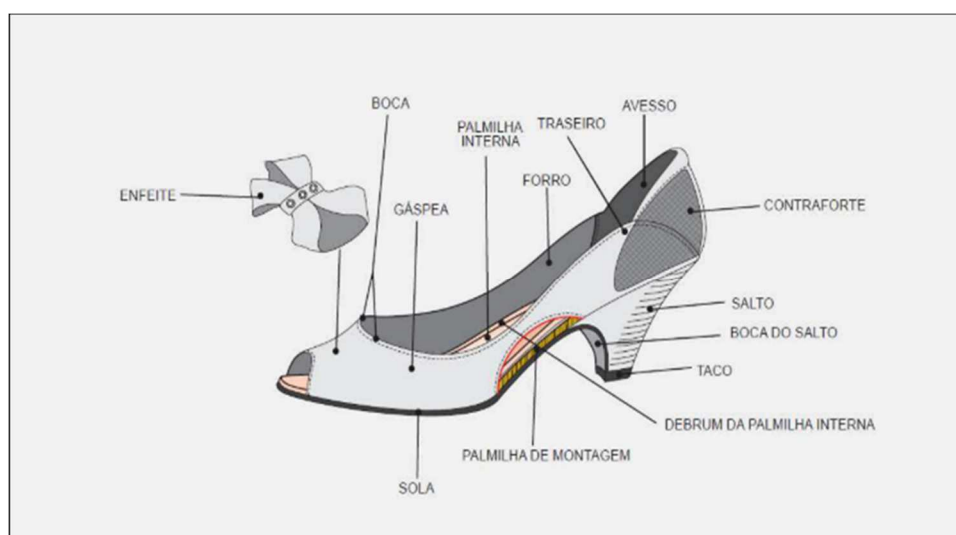
Peças do solado	Descrição
Palmilha de montagem	Lâmina que tem a função de dar firmeza ao caminhar e pode ser de aço, madeira, arame ou plástico rígido - é cortada no mesmo tamanho da planta da fôrma, sobre a qual é montado o cabedal e à qual é fixada a sola externa. Além de ser um dos elementos mais importantes do calçado, pois se constitui numa estrutura sobre a qual se alicerçam quase todas as partes que constituem o modelo, é considerada uma terceira divisão do calçado, pois serve de ligação entre o cabedal e o solado.
Reforço da palmilha de montagem	Constituído por papelão especial, a base de celulose, rígido devido à compactação, possui elevada resistência e estabilidade, principalmente em saltos altos, boa conformação e não deforma com uso. Também há reforços injetados, mas neste caso, necessita-se padronização de fôrmas, utilizada em alta escala de fabricação.
Alma de reforço	Esta peça pode ser de aço, madeira ou plástico. São peças fixadas entre a palmilha de celulose e o reforço da palmilha, com rebites ou podem ser colocadas na matriz de injeção do reforço injetado e ainda em solados de PU.
Entressola	Peça colada entre a sola e a palmilha de montagem, cuja finalidade é proporcionar conforto e para aumentar a espessura da sola;
Sola	Serve para contato com o solo, conforme o material utilizado irá determinar o seu perfil e as propriedades do calçado, pode ser lisa, com estampa ou antiderrapante.
Vira	Utiliza-se a vira com maior frequência em calçados masculinos. Podem ser encontradas em couro, borracha, entre outros materiais; encontra-se colada sobre a extremidade da sola ou até mesmo, costurada na sola;
Salto	Proporciona altura aos calçados, tanto masculinos quanto femininos; nos masculinos, a altura normalmente utilizada varia de 1 a 2,5cm, já nos femininos, esta fica entre 1 a 10cm; injetado em material polimérico termoplástico quando em escala de produção ou produzido em madeira para a confecção dos primeiros pés/pares de protótipos.

Peças do solado	Descrição
Tacão ou Taco	Fixado no salto, esta peça fica em contato direto com o solo, assim como a sola, destina a proteger o salto; normalmente apresenta-se em um tamanho relativamente pequeno, o que exige que o material utilizado na injeção do mesmo seja de qualidade com resistência ao desgaste.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em (ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016).

Os elementos descritos acima são fundamentalmente as peças que constituem o calçado. Todavia, dependendo do modelo que se deseja produzir, outras peças podem ser agregadas (ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016). A Figura 21 apresenta um modelo de calçado feminino baixo.

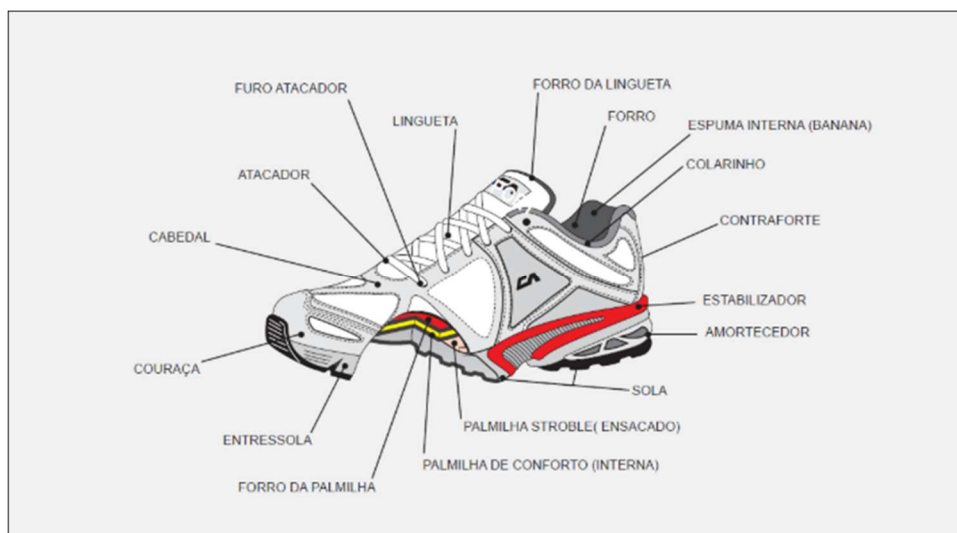
Figura 21: Modelo de calçado feminino baixo e as partes que o compõem



Fonte: Andrade; Corrêa e Silva (2001).

Os calçados esportivos, por exemplo, poderão ter ilhoses, forros especiais, dispositivos de amortecimento de impacto, entre outros (ANDRADE; CORRÊA, 2001; SILVA, 2016). A Figura 22 apresenta um modelo de calçado esportivo e as partes que o compõem.

Figura 22: Modelo de calçado esportivo e as partes que o compõem



Fonte: Andrade; Corrêa e Silva (2001).

Na próxima seção será apresentado o processo de manufatura do calçado realizado pela empresa estudada.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Na fabricação do calçado, os insumos passam por transformações em fases bem definidas até que se transformem efetivamente em sapatos, sandálias, tênis e entre outros. As etapas são determinadas pelo tipo de calçado e em função do material de confecção do cabedal, que pode estar em quatro categorias básicas: injetados, sintéticos, couro e têxtil (CUNHA, 2008; GUIDOLIN et al., 2010; TOMASSINI, 2012).

O processo de produção de calçados do tipo injetados, como as sandálias de praia, apresenta uma reduzida complexidade de manufatura, o que exige o emprego de um volume também reduzido de utilização de mão-de-obra direta, uma vez que, o processo utiliza máquinas automáticas na maioria das operações necessárias. Os calçados sintéticos, de couro e têxteis, exigem outros tipos de operações como, por exemplo, a junção de cabedal e solado. Esses tipos de calçados tem uma elevada utilização de mão-de-obra direta com operações predominantemente manuais (TOMASSINI, 2012).

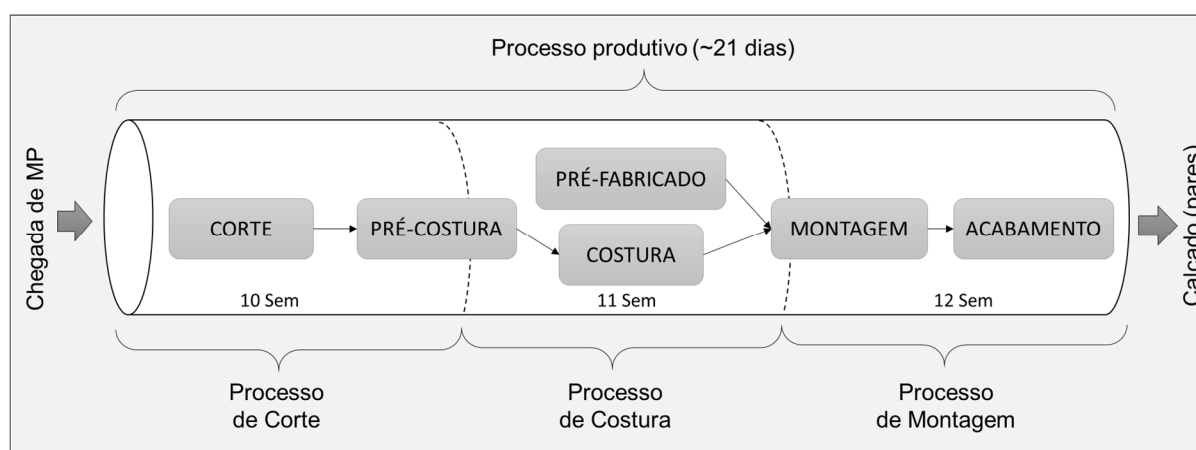
As unidades estudadas não produzem calçados do tipo injetado. O enfoque está em calçados com predominância em materiais de couro devido a especialização da mão-de-obra e o *know-how* pelo qual a organização é reconhecida. Entretanto,

pode se observar uma transição na substituição do couro, como matéria-prima principal, para materiais sintéticos e têxteis, principalmente nos calçados esportivos (ABICALÇADOS, 2019). Para estes tipos de calçados o processo produtivo da empresa é dividido entre: i) corte; ii) pré-costura; iii) costura; iv) pré-fabricado; v) montagem, e; vi) acabamento (COLAÇO, 2013; CUNHA, 2008; JUNIOR; XIMENES, 2018; SILVA, 2016).

Cunha (2008) afirma que essa divisão da fabricação do calçado em etapas claras e distintas facilita o deslocamento geográfico da produção, à medida que viabiliza a execução externa de um grupo determinado de operações. Guidolin, Costa e Rocha (2010) reforçam que essa fragmentação contribui para organização da produção em redes, em especial em clusters e outros aglomerados produtivos, como no caso dos atelieres (CUNHA, 2008; GUIDOLIN et al., 2010; SILVA, 2016; TOMASSINI, 2012).

O modelo esquemático do processo de manufatura realizado pela empresa estudada é apresentado na Figura 23. As etapas do processo de produção do calçado são detalhadas em seguida.

Figura 23: Processo de produção do calçado



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A empresa estudada divide o processo de manufatura do calçado em três macroprocessos a iniciar pelo i) corte, passando pela etapa de ii) costura, e, por fim, a iii) montagem. Cada macroprocesso tem o *lead time* médio de uma semana.

O setor de corte inicia o processo produtivo do calçado. O corte tem início com o recebimento da matéria-prima e a separação do material. O corte da matéria-prima, principalmente o couro, é feito de acordo com as dimensões e disposições definidas

na etapa de desenvolvimento técnico. Esta etapa pode ser manual (artesanal), com a utilização de “facas” e moldes de cartolina reforçados nas bordas com filetes de metal. Também são usadas prensas hidráulicas denominadas balancim na qual é afixada, no cabeçote, uma navalha de fita de aço, que também atende às determinações do molde. A empresa também dispõe de máquinas de corte automáticas para o corte das matérias-primas. O processo de corte com essas máquinas apresenta vantagens em relação ao corte manual devido ao melhor aproveitamento do material, pois a área de corte é definida com o auxílio de um *software* que projeta os desenhos das peças sobre o material com o objetivo de maximizar o aproveitamento do mesmo.

Após o corte do material principal e a confecção de seus detalhes, as peças que fazem parte do cabedal são agrupadas em lotes e encaminhadas ao processo de pré-costura, onde são preparadas, chanfradas, dobradas, picotadas e coladas para em seguida serem costuradas. Esse trabalho de preparação, na maior parte das empresas, é realizado manualmente e, em algumas outras poucas, feito em máquinas eletrônicas simples. Todas as peças, antes de serem pré-costuradas, recebem marcações e apontamentos que são a referência guia da costura, além disso, são fundamentais para que os calçados sejam produzidos sempre seguindo o padrão pré-determinado. Na empresa estudada, dependendo da necessidade e complexidade do processo, esta etapa pode ser realizada internamente ou externamente com auxílio de ateliers que são contratados por períodos determinados levando-se em conta a demanda.

O processo de costura tem início com as peças do cabedal preparadas, marcadas e apontadas. O setor de costura é considerado um dos pontos críticos do processo de fabricação, uma vez que há grande variação de operações de um modelo para outro. Esta etapa tem se mostrado razoavelmente automatizada, com o uso de máquinas de bordar programáveis inteligentes, que facilitam a execução de tarefas mais minuciosas, embora a maioria das atividades ainda sejam operadas manualmente. Para cada tipo de costura, é utilizado o equipamento adequado, pois a diversidade de modelos para fins específicos, como o caso do calçado de couro feminino e calçado em sintético esportivo, são quem determinam o material e a forma de costura que oferece uma maior resistência, segurança e firmeza ao calçado.

Entre os métodos que utilizam a costura, estão o blaqueado (para a fabricação de tênis e mocassins), o *goodyear* (observado principalmente em calçados de montanhismo, em botas militares e em alguns modelos mais pesados) e o ponteado

(atualmente utilizado apenas em alguns calçados de estilo jovem e confortável), cabendo ressaltar que se trata de um processo misto, pois o cabedal é fixado à palmilha mediante costura, mas a sola é colada.

O processo de pré-fabricado ocorre paralelamente ao corte e costura do cabedal. O setor de pré-fabricado é responsável pela fabricação da construção inferior do calçado em que ocorre a preparação das palmilhas e solados, que podem ser produzidos dentro da empresa, mas via de regra são adquiridos de fornecedores externos, como componentes semiacabados. Nesta etapa, os materiais que compõem o solado (salto e sola), bem como a palmilha, são cortados, lixados, conformados, limpos e colados.

No processo de montagem são unidos os componentes previamente confeccionados nos setores anteriores (corte, costura e pré-fabricado) como cabedal, palmilha de montagem e a sola, onde são transformados em um calçado completo. No setor de montagem são selecionadas as fôrmas conforme o plano de produção e são conferidos os lotes para início da conformação do cabedal no molde. O cabedal é então montado e moldado sobre uma fôrma, onde, posteriormente, faz-se a colagem da sola. Através do processo de choque térmico e montagem da base do adesivo termo reativado, o calçado começa a ganhar forma, iniciando pelo bico e terminando no salto, onde todo o cabedal moldado ganha forma de calçado. Depois da conformação, o cabedal é lixado em toda superfície de colagem, para garantir maior homogeneidade no processo. As máquinas de “montar bico” são os principais equipamentos do setor e que normalmente delimitam a capacidade de produção deste.

Uma vez concluída a operação de fixação da sola ao cabedal no processo de montagem, o calçado está praticamente pronto, devendo passar ainda por operações específicas de acabamento. Essas operações consistem em limpeza, retoque de pequenos defeitos e controle de qualidade final. Após a revisão final o calçado é encaixotado e enviado à expedição da fábrica para aguardar a consolidação e transporte para o cliente. Na próxima seção é apresentada a contextualização dos casos analisados.

4.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CASOS ANALISADOS

As cinco plantas de produção da empresa estudada em relação aos tipos de negócio estão divididas da seguinte maneira, a saber: i) duas plantas de produção de calçados esportivos, uma no estado da Bahia e outra no estado do Ceará; ii) duas plantas de produção de calçados femininos, uma no estado do Rio Grande do Sul e outra no Ceará, e; iii) uma fábrica com produção mista de calçado feminino e esportivo no estado do Ceará. Com exceção da fábrica de produção mista de calçados, as demais produzem exclusivamente calçados femininos ou esportivos.

Com o objetivo de avaliar a eficiência econômica dos tipos de negócio feminino e esportivo, foram desenvolvidos quatro modelos, a saber: i) MODELO A, para a análise da eficiência econômica em conjunto das unidades que produzem calçados esportivos; ii) MODELO B, para a análise da eficiência econômica da unidade que produz calçados femininos no estado do Ceará; iii) MODELO C, para a análise da eficiência econômica da unidade que produz calçados femininos no estado do Rio Grande do Sul, e; iv) MODELO D, para a análise da eficiência econômica da unidade que produz calçados mistos femininos e esportivos no estado do Ceará. Os modelos foram apresentados na seção 3.3 do procedimento metodológico. Com o objetivo de preservar a confidencialidade das informações referente às unidades produtivas da empresa, os dados passaram por um processo de transformação para que possam ser mascaradas as informações sensíveis da empresa estudada, entretanto, se manteve as relações entre os valores originais coletados no banco de dados. A seguir, cada modelo é apresentado.

4.3.1 MODELO A (MA) – Unidades produtivas de calçados esportivos

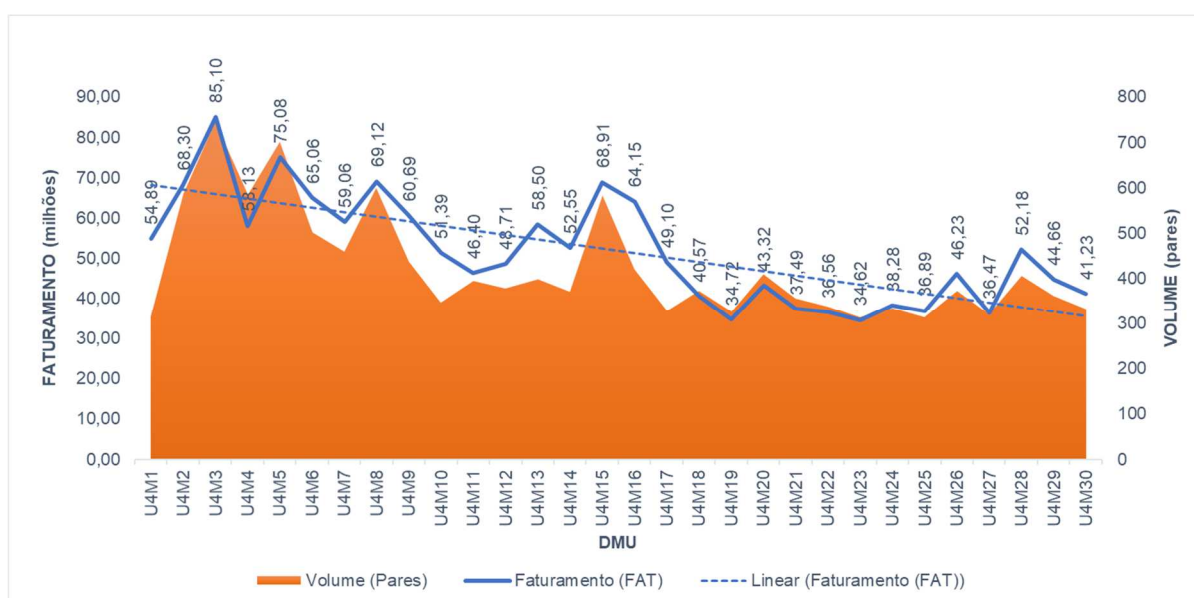
O MODELO A (MA) foi desenvolvido para avaliar a eficiência econômica em conjunto do tipo de negócio esportivo das unidades de produção da Bahia e do Ceará que produzem exclusivamente calçados deste tipo. Ambas unidades fabricam famílias de produtos semelhantes, como por exemplo, calçados do tipo casual, *running* e chuteiras, e fazem uso de processos e tecnologias semelhantes, como por exemplo, serigrafia e alta frequência. A seguir são apresentadas as principais características de cada uma das unidades que compõe o MA.

4.3.1.1 Apresentação da unidade esportivo da Bahia

A unidade foi fundada em 2003 tendo 17 anos de operação no estado da Bahia. A unidade atende três clientes que compõem o grupo de marcas de maior representatividade do setor de calçados esportivos no Brasil e no mundo. As famílias de calçados fabricados estão entre *casual*, chuteiras e *running*. O volume de produção diário é de cerca de 7.500 pares e mensalmente a unidade produz aproximadamente 160.000 pares, onde 90% desta produção se destina ao mercado interno brasileiro e os restantes 10% são exportados. Para atender a demanda a unidade conta com cerca de 1.250 colaboradores distribuídos nos setores produtivos de corte, costura, montagem e seus subprocessos como serigrafia, costura programada e pré-fabricado, e também nos setores de apoio, sendo que 80% destes são diretos e os restantes 20% indiretos.

O Gráfico 5 apresenta o faturamento em milhões de reais para o período avaliado. Pode-se observar que o faturamento apresenta uma tendência decrescente e que a partir da DMU U4M15 há uma redução no nível mensal de faturamento.

Gráfico 5: Faturamento mensal da unidade esportivo da Bahia



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os especialistas relatam que parte desta redução ocorreu devido a estratégia de priorização e posicionamento da carteira de clientes, seguido de alterações no volume de pedidos recebidos pela unidade. Outro ponto destacado pelos especialistas é o de que a unidade no período U4M1 até U4M15 era abastecida com cabedal pronto

por duas fábricas satélites adjacentes que realizavam o processo de corte e costura e que entregavam a construção superior pronta para a montagem.

Tal fato representava um diferencial para a unidade devido ao elevado volume de produção e faturamento. Além disso, com uma grande quantidade de pedidos e tendo foco exclusivo para o setor de montagem somado ao volume de produção, a unidade gerava uma elevada receita, e um melhor controle dos recursos de produção. A partir da DMU U4M15 se observa um decréscimo no número de pares produzidos e faturados (área laranja do gráfico).

Os especialistas relatam que com a redução do volume de pedidos e com a mudança do mix de modelos a serem produzidos, as unidades satélites foram desativadas e os processos de corte e costura foram internalizados na unidade principal. A Tabela 5 e o Anexo B apresentam a variação entre períodos da unidade 4.

Tabela 5: Variação entre períodos da unidade 4 – modelo A

UNIDADE 4	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
MÍNIMO	0,92	16,44	0,00
MÁXIMO	26,98	271,94	0,06
MÉDIA	8,95	86,29	0,01
DESV. PAD.	5,85	69,25	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar a Tabela 5, pode-se observar as variações de faturamento, volume de pares e de preço médio. Destaca-se que há uma reduzida variação de preço médio no período analisado. Logo, observa-se que a variação do faturamento pode ser explicada pelo as decisões de alterações na carteira de clientes e o mix dos calçados produzidos e faturados. Destaca-se o elevado desvio padrão para a variável volume de pares de 69,25 unidades. A Tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas para os *inputs* da unidade 4 do modelo A.

Tabela 6: Resumo dos *inputs* da unidade 4 - modelo A

UNIDADE 4	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
Número de MO Direta	30	2,56	0,19	2,61	0,19	1,99	2,82	0,03
Número MO Indireta	30	0,54	0,03	0,53	0,04	0,46	0,58	0,01

UNIDADE 4	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
Número de HE Diretos	30	2,70	0,14	2,66	0,18	2,30	2,88	0,03
Número de HE Indiretos	30	2,43	1,53	2,56	1,99	0,25	5,68	0,28
Número de Retrabalhos	30	1,71	0,45	1,61	0,42	0,82	2,68	0,08
Energia Elétrica (KWh)	30	469,45	46,90	463,85	38,97	381,02	596,49	8,56
Couro (m ²)	30	5,99	2,97	5,26	2,90	2,41	13,79	0,54
Forro (m ²)	30	85,25	16,27	83,67	13,89	54,01	122,68	2,97
Sola (m ²)	30	313,56	62,67	299,84	46,87	200,92	458,46	11,44
Tecido (m ²)	30	27,11	6,90	25,23	6,58	17,85	45,16	1,26

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Destaca-se o elevado desvio padrão para as variáveis Energia Elétrica (KWh) e Sola (m²). Os especialistas relatam que a energia elétrica e o consumo de sola acompanham a variação do volume de produção. A seguir a unidade esportivo do Ceará é apresentada.

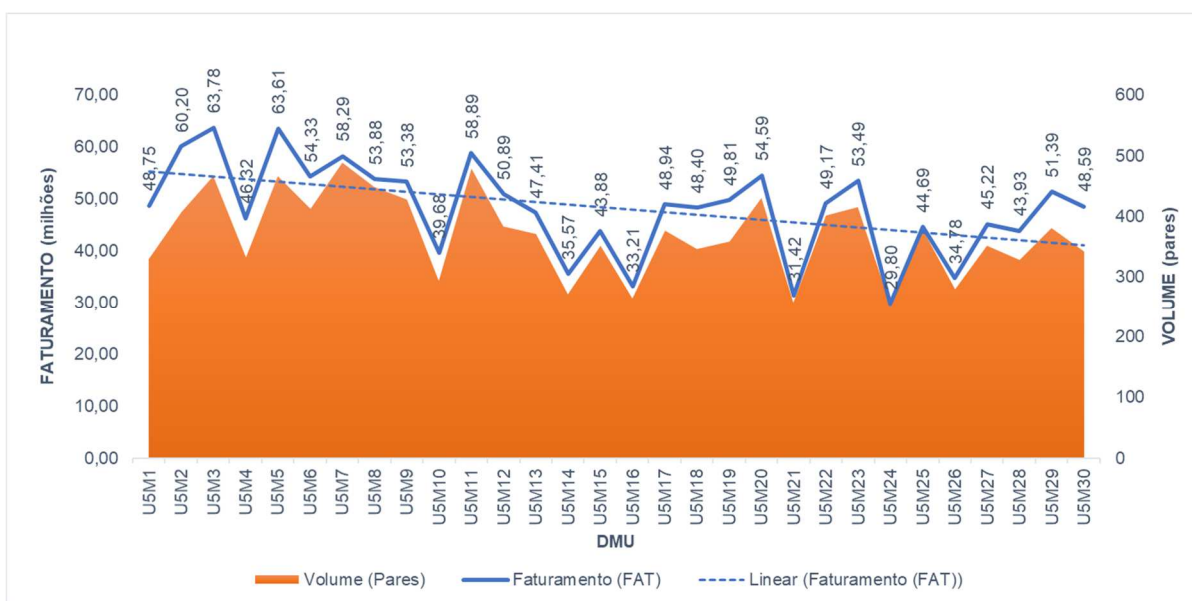
4.3.1.2 Apresentação da unidade esportivo do Ceará

A unidade foi fundada em 2011 no estado do Ceará e tem 9 anos de operação sendo dedicada a atender a um cliente específico com elevada representatividade no mercado de esportes no Brasil e no mundo. Entretanto, como exceção, eventuais ociosidades são preenchidas com a fabricação de calçados para outros clientes que solicitam projetos especiais, também denominados como esportivo, devido a construção do calçado. Uma característica desses projetos especiais é de que os clientes não são concorrentes do cliente principal da unidade. O volume de produção diário é de cerca de 10.500 pares de calçados e mensalmente a unidade produz aproximadamente 220.500 pares. Cerca de 85% desta produção é direcionada ao mercado interno brasileiro e os restantes 15% são direcionados ao mercado externo. Para atender a demanda a unidade conta com cerca de 1.550 colaboradores distribuídos nos setores produtivos de corte, costura, montagem, e também nos setores de apoio. Destes, 80% tem relação direta com a produção e os restantes 20% são classificados como indiretos.

No Gráfico 6 é apresentado o faturamento em milhões de reais para o período de janeiro de 2017 ao mês de junho de 2019. Observa-se que o gráfico apresenta uma tendência decrescente de faturamento. Os especialistas relatam que parte desta redução ocorre devido a estratégia de posicionamento e exposição do cliente às

fábricas brasileiras, ou seja, o cliente está migrando parte de sua produção para a Ásia, por exemplo. Outro ponto destacado pelos especialistas é o de que no período analisado, ocorreu uma redução na mão-de-obra de 6% ao ano acompanhando a variação da demanda.

Gráfico 6: Faturamento mensal da unidade esportiva do Ceará



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ambas fábricas possuem estrutura fabril semelhante e os processos pelos quais os calçados esportivos são fabricados são similares, ou seja, compartilham o mesmo grupo de equipamentos, como por exemplo, máquinas de corte manual e automático, mesas e máquinas automáticas de serigrafia, processos de frequência e entre outros. Os tipos de calçados produzidos estão entre chuteiras, *running* e casual. A Tabela 7 e o Anexo C apresentam a variação entre períodos da unidade 5.

Tabela 7: Variação entre períodos da unidade 5 – modelo A

UNIDADE 5	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
MÍNIMO	0,51	12,27	0,00
MÁXIMO	23,69	185,83	0,01
MÉDIA	9,70	83,77	0,01
DESV. PAD.	6,80	50,46	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar a Tabela 7, pode-se observar as variações de faturamento, volume de pares e de preço médio. Destaca-se que há uma reduzida variação de preço médio no período analisado. Logo, observa-se que a variação do faturamento pode ser explicada pela variação no volume de pares produzidos e faturados. Destaca-se o elevado desvio padrão para a variável volume de pares de 50,46 unidades. A Tabela 8 apresenta as estatísticas descritivas para os *inputs* da unidade 5 do modelo A.

Tabela 8: Resumo dos *inputs* da unidade 5 - modelo A

UNIDADE 5	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
Número de MO Direta	30	2,29	0,12	2,31	0,16	2,12	2,46	0,02
Número MO Indireta	30	0,57	0,04	0,56	0,06	0,50	0,64	0,01
Número de HE Diretos	30	3,07	0,62	3,09	0,52	1,98	4,08	0,11
Número de HE Indiretos	30	2,48	1,43	2,51	1,48	0,56	6,83	0,26
Número de Retrabalhos	30	1,59	0,24	1,60	0,22	1,02	2,13	0,04
Energia Elétrica (KWh)	30	525,03	53,20	527,16	42,92	417,13	623,11	9,71
Couro (m ²)	30	5,74	2,80	4,58	2,66	1,45	12,01	0,51
Forro (m ²)	30	45,95	14,51	45,08	14,63	24,31	79,28	2,65
Sola (m ²)	30	241,75	83,23	259,27	100,86	128,12	419,10	15,20
Tecido (m ²)	30	19,09	5,92	20,05	7,33	10,02	29,79	1,08

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Destaca-se o elevado desvio padrão para as variáveis Energia Elétrica (KWh) e Sola (m²) seguido pela variável Forro (m²). Os especialistas relatam que a variação do volume faturados impacto no volume de utilização, principalmente, nos materiais em metros quadrados.

4.3.2 MODELO B (MB) – Unidade produtiva de calçados femininos

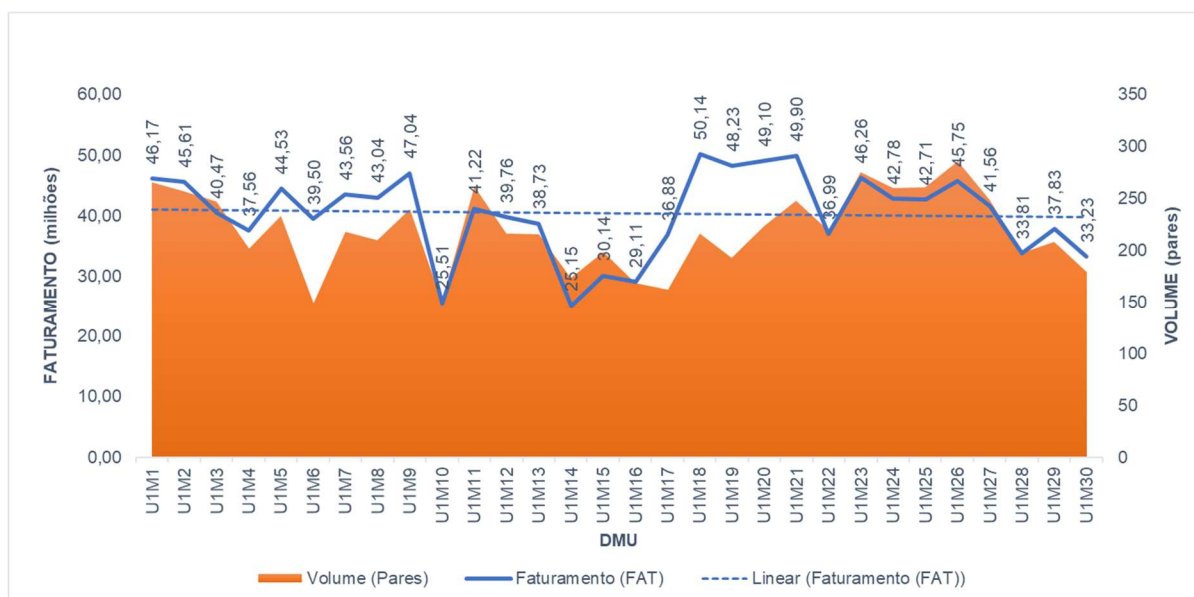
O MODELO B (MB) foi desenvolvido para avaliar a eficiência econômica do tipo de negócio feminino da unidade de produção do estado do Ceará que produz calçados com elevado valor agregado, como por exemplo, calçados de couro tipo exportação. Os modelos produzidos variam de chinelos com palmilhas e tiras em couro a botas tipo *over the knee*. A seguir são apresentadas as principais características da unidade avaliada no MB.

4.3.2.1 Apresentação da unidade feminino do Ceará

A unidade foi fundada em 1997 e tem 23 anos de operação no estado do Ceará. A unidade é dedicada a atender a um cliente específico com elevada representatividade no mercado exterior de calçados e reconhecida qualidade de seus produtos. O volume de produção diário é de cerca de 10.000 pares de calçados e mensalmente a unidade produz aproximadamente 210.000 pares. Cerca de 100% da produção é direcionada ao mercado externo.

Para atender a demanda a unidade conta com cerca de 1.450 colaboradores distribuídos nos setores produtivos de corte, costura, montagem, e também nos setores de apoio. Destes, 80% tem relação direta com a produção e os restantes 20% são classificados como indiretos. Os modelos produzidos pela unidade têm elevado valor agregado, pois majoritariamente o material utilizado na confecção do cabedal e da palmilha é o couro. O Gráfico 7 apresenta o faturamento mensal em milhões de reais da unidade feminino do Ceará.

Gráfico 7: Faturamento mensal da unidade feminino do Ceará



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No Gráfico 7 pode se observar que o faturamento mensal da unidade segue uma tendência constante com um faturamento médio de 40,41 milhões. Observa-se também que na DMU U1M10 e U1M14 ocorrem os faturamentos mínimos do período analisado.

Destaca-se ao analisar o Gráfico 7 que entre as DMUs U1M4 e U1M9 o volume de pares produzidos e faturados sofre uma redução e que, entretanto, o faturamento apresenta tendência crescente. O mesmo efeito é observado entre as DMUs U1M16 e U1M22, entretanto, com uma amplitude de maior elevação do que o período anterior. Os especialistas da empresa relatam que ambos períodos tem relação com as mudanças de coleção mix que ocorrem nos meses de abril (U1M4 e U1M16) e outubro (U1M10 e U1M22), onde são comercializados produtos de valor agregado e um menor volume em pares e tem relação com as feiras internacionais.

Tabela 9: Variação entre períodos da unidade 1 – modelo B

UNIDADE 1	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
MÍNIMO	0,07	0,35	0,00
MÁXIMO	21,53	110,91	0,07
MÉDIA	5,60	35,29	0,02
DESV. PAD.	5,30	27,02	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Tabela 9 e o Anexo D apresentam a variação entre períodos da unidade 1 e pode-se observar as variações de faturamento, volume de pares e de preço médio. Destaca-se que há uma reduzida variação de preço médio no período analisado. Logo, observa-se que a variação do faturamento pode ser explicada pela variação no volume de pares produzidos e faturados. Destaca-se o elevado desvio padrão para a variável volume de pares de 27,02 unidades. A Tabela 10 apresenta as estatísticas descritivas para os *inputs* da unidade 1 do modelo B.

Tabela 10: Resumo dos *inputs* o modelo B

MODELO B	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
Número de MO Direta	30	2,01	0,06	2,00	0,07	1,94	2,11	0,01
Número MO Indireta	30	0,56	0,07	0,57	0,10	0,44	0,66	0,01
Número de HE Diretos	30	11,07	9,68	9,04	10,15	0,18	31,05	1,77
Número de HE Indiretos	30	3,02	2,95	1,45	1,36	0,44	10,73	0,54
Número de Retrabalhos	30	0,31	0,10	0,33	0,07	0,15	0,53	0,02
Energia Elétrica (KWh)	30	361,34	35,18	363,97	25,50	257,83	443,58	6,42
Couro (m ²)	30	9,49	2,20	9,91	1,98	5,84	14,19	0,40
Forro (m ²)	30	13,92	4,78	13,05	4,83	7,52	27,01	0,87
Sola (m ²)	30	191,93	44,57	185,08	43,19	112,54	273,02	8,14
Tecido (m ²)	30	34,40	12,64	30,11	12,90	15,73	62,89	2,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Destaca-se o elevado desvio padrão para as variáveis Energia Elétrica (KWh) e Sola (m²) seguido pela variável Tecido (m²). Os especialistas relatam que a variação do volume faturados impacta no volume de utilização, principalmente, nos materiais em metros quadrados.

4.3.3 MODELO C (MC) – Unidade produtiva de calçados femininos

O MODELO C (MC) foi desenvolvido para avaliar a eficiência econômica do tipo de negócio feminino da unidade de produção do estado do Rio Grande do Sul que, assim como o MB, produz calçados de elevado valor agregado, como por exemplo, calçados de couro tipo exportação, porém em uma escala reduzida. Os modelos produzidos variam entre tênis femininos em couro e tecidos sintéticos, botas e abotinados de couro e sandálias e sapatilhas. A seguir são apresentadas as principais características da unidade avaliada no MC.

4.3.3.1 Apresentação da unidade feminino do Rio Grande do Sul

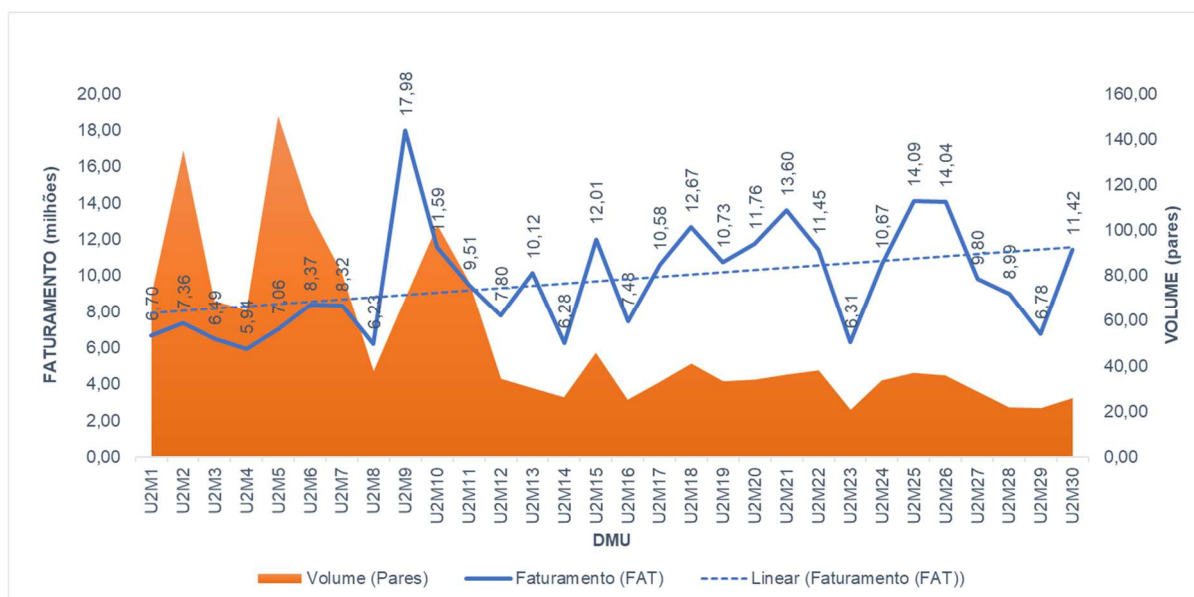
A unidade foi fundada em 1945 e tem 75 anos de operação no estado do Rio Grande do Sul. A unidade é a unidade matriz da organização e se dedica ao atendimento de uma variedade de clientes internacionais que se caracterizam por comprarem lotes reduzidos e altamente customizados de elevado valor agregado. O volume de produção diário é cerca de 700 pares e mensalmente a unidade produz aproximadamente 14.700 pares, onde 100% da produção é direcionada ao mercado externo.

Para atender a demanda a unidade conta com cerca de 350 colaboradores distribuídos nos setores produtivos de corte, costura, montagem, e também nos setores de apoio. Destes, 80% tem relação direta com a produção e os restantes 20% são classificados como indiretos. O Gráfico 8 apresenta o faturamento mensal em milhões de reais da unidade feminino do Rio Grande do Sul.

Ao analisar o Gráfico 8, observa-se no período de 2017 (U2M1 a U2M12) um elevado volume de pares faturados e um reduzido faturamento em relação aos demais períodos. Os especialistas relatam que no período de 2017 houve a decisão estratégica da empresa de apresentar uma elevada disponibilidade e de atender uma quantidade elevada de clientes. Entretanto, a partir de 2018 (U2M13) o

posicionamento estratégico da empresa foi alterado e foram considerados na carteira de clientes apenas aqueles que preenchiam uma quantidade específica de requisitos. O resultado dessa e de outras ações reduziu o número de clientes, permanecendo apenas aqueles de elevado valor agregado. Pode-se observar no Gráfico 8 uma estabilidade no volume de produção e a crescente elevação do faturamento.

Gráfico 8: Faturamento mensal da unidade feminino do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ainda no Gráfico 8, pode-se observar que o faturamento médio por mês é de aproximadamente 9,74 milhões. Os especialistas comentam que especificamente no mês de setembro de 2017 (U2M9) ocorreu o faturamento de pares produzidos em períodos anteriores e que estavam em estoque.

Tabela 11: Variação entre períodos da unidade 2 – modelo C

UNIDADE 2	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
MÍNIMO	0,05	0,39	0,00
MÁXIMO	11,75	85,75	0,14
MÉDIA	2,83	20,57	0,05
DESV. PAD.	2,43	22,51	0,04

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Tabela 11 e o Anexo E apresentam a variação entre períodos da unidade 2 e pode-se observar as variações de faturamento, volume de pares e de preço médio. Destaca-se que há uma reduzida variação de preço médio no período analisado.

Logo, observa-se que a variação do faturamento pode ser explicada pela variação no volume de pares produzidos e faturados. Destaca-se o elevado desvio padrão para a variável volume de pares de 22,512 unidades. A Tabela 12 apresenta as estatísticas descritivas para os *inputs* da unidade 2 do modelo C.

Tabela 12: Resumo dos *inputs* o modelo C

MODELO C	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
Número de MO Direta	30	0,82	0,07	0,84	0,10	0,69	0,92	0,01
Número MO Indireta	30	0,70	0,03	0,71	0,04	0,65	0,76	0,01
Número de HE Diretos	30	3,79	1,06	3,33	0,62	2,22	6,54	0,19
Número de HE Indiretos	30	0,60	0,33	0,52	0,28	0,27	1,41	0,06
Número de Retrabalhos	30	0,16	0,09	0,15	0,11	0,04	0,41	0,02
Energia Elétrica (KWh)	30	435,23	53,39	436,83	59,58	334,94	556,38	9,75
Couro (m ²)	30	1,50	0,51	1,60	0,51	0,37	2,28	0,09
Forro (m ²)	30	2,96	0,97	2,97	1,24	1,46	5,13	0,18
Sola (m ²)	30	16,69	7,58	16,25	5,68	2,46	32,38	1,38
Tecido (m ²)	30	3,84	3,20	3,40	2,77	0,17	13,88	0,58

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Destaca-se o elevado desvio padrão para as variáveis Energia Elétrica (KWh) e Sola (m²) seguido pela variável Tecido (m²). Os especialistas relatam que a variação do volume faturados impacto no volume de utilização, principalmente, nos materiais em metros quadrados.

4.3.4 MODELO D (MD) – Unidade produtiva de calçados mista

O MODELO D (MD) foi desenvolvido para avaliar a eficiência econômica do tipo de negócio feminino e esportivo da unidade de produção do estado do Ceará. Cerca de 70% da produção da unidade é de calçados femininos e os restantes 30% são de calçados esportivos. Os principais tipos de calçados femininos produzidos são do tipo exportação. Nos calçados esportivos predomina o modelo casual, um modelo de menor complexidade e elevado volume.

4.3.4.1 Apresentação da unidade de calçados feminino e esportivo do Ceará

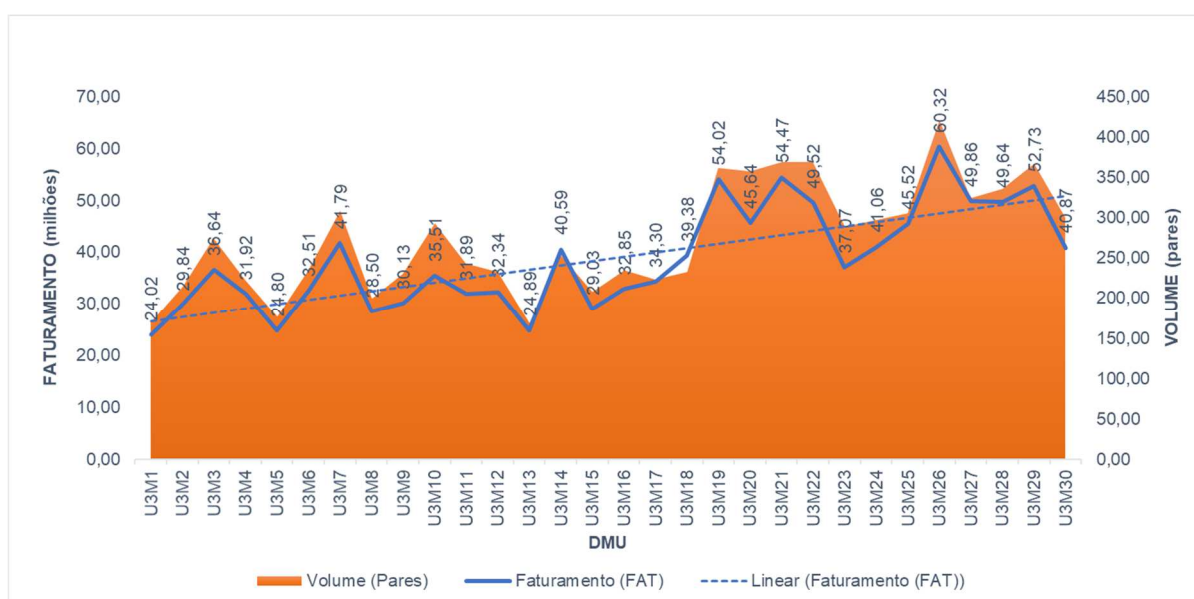
A unidade foi fundada em 1995 tendo 25 anos de operação no estado do Ceará. Esta é a unidade de maior flexibilidade da organização, visto que, é a única que produz calçados feminino e esportivo simultaneamente. A unidade tem capacidade para

fabricar grandes lotes de modelos padronizados e pequenos lotes de modelos altamente customizados e com alto valor agregado.

A unidade atende a uma variedade de clientes nacionais e internacionais. As marcas próprias desenvolvidas internamente pela empresa são produzidas nesta unidade. O volume de produção diário é de cerca de 10.000 pares e mensalmente a unidade produz aproximadamente 21.000 pares, que são direcionados ao mercado interno e externo.

Para atender a demanda a unidade conta com cerca de 1.600 colaboradores distribuídos nos setores produtivos de corte, costura, montagem, e também nos setores de apoio. Destes, 70% tem relação direta com a produção e os restantes 30% são classificados como indiretos. O Gráfico 9 apresenta o faturamento mensal em milhões de reais da unidade de calçados mistos do Ceará.

Gráfico 9: Faturamento mensal da unidade mista do Ceará



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No Gráfico 9 pode se observar que o faturamento da unidade segue uma tendência crescente com um faturamento médio por mês de 38,72 milhões. Os especialistas relatam que o volume de pedidos da unidade vem crescendo, principalmente pela entrada de novos clientes internacionais. Outro ponto relatado é a melhora na receptibilidade dos calçados de marca própria que tiveram um incremento de vendas em 12%.

Tabela 13: Variação entre períodos da unidade 3 – modelo D

UNIDADE 3	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
MÍNIMO	0,22	0,35	0,00
MÁXIMO	15,69	128,72	0,02
MÉDIA	7,21	48,44	0,01
DESV. PAD.	4,43	36,22	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Tabela 13 e o Anexo F apresentam a variação entre períodos da unidade 3 e pode-se observar as variações de faturamento, volume de pares e de preço médio. Destaca-se que há uma reduzida variação de preço médio no período analisado. Logo, observa-se que a variação do faturamento pode ser explicada pela variação no volume de pares produzidos e faturados. Destaca-se o elevado desvio padrão para a variável volume de pares de 36,22 unidades. A Tabela 14 apresenta as estatísticas descritivas para os *inputs* da unidade 3 do modelo D.

Tabela 14: Resumo dos *inputs* o modelo D

MODELO D	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
Número de MO Direta	30	2,20	0,06	2,23	0,05	2,04	2,27	0,01
Número MO Indireta	30	0,73	0,09	0,69	0,10	0,57	0,85	0,02
Número de HE Diretos	30	4,05	0,76	4,05	0,72	2,84	5,45	0,14
Número de HE Indiretos	30	3,34	0,78	3,40	0,37	1,26	5,47	0,14
Número de Retrabalhos	30	0,98	0,25	0,99	0,24	0,50	1,49	0,04
Energia Elétrica (kWh)	30	519,56	68,46	531,16	47,15	277,53	621,11	12,50
Couro (m ²)	30	9,83	5,97	9,01	6,94	0,73	21,10	1,09
Forro (m ²)	30	34,19	14,48	31,34	14,53	6,94	63,74	2,64
Sola (m ²)	30	184,76	75,23	166,93	83,48	51,49	308,57	13,73
Tecido (m ²)	30	34,29	19,46	35,22	24,96	10,88	81,22	3,55

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Destaca-se o elevado desvio padrão para as variáveis Energia Elétrica (KWh) e Sola (m²) seguido pela variável Forro (m²). Os especialistas relatam que a variação do volume faturados impacto no volume de utilização, principalmente, nos materiais em metros quadrados.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do cálculo das seis medidas de eficiência e a análise comparativa entre o comportamento de cada um dos quatro modelos avaliados. Posteriormente, é efetuada uma análise de correlação entre as eficiências medidas, o faturamento, resultado operacional e custo de produto. Em seguida as hipóteses de pesquisa são testadas e analisadas. Por fim, é apresentada a avaliação dos especialistas da empresa sobre a análise das eficiências calculadas.

5.1 AVALIAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS

A análise das eficiências dos quatro modelos avaliados foi segregada entre modelo A (MA) (seção 5.1.1), modelo B (MB) (seção 5.1.2), modelo C (MC) (seção 5.1.3) e modelo D (MD) (seção 5.1.4). Nesse sentido, na próxima seção são discutidos os resultados referentes ao comportamento das eficiências para o modelo A (MA).

5.1.1 Análise da eficiência do MODELO A (MA)

Na Tabela 15 estão relacionados, em ordem cronológica, os 30 meses que representam o período de análise de dois anos e meio consecutivos (janeiro de 2017 a junho de 2019) para as duas unidades que compõe o MA totalizando 60 DMUs. Posteriormente os resultados são sumarizados na Tabela 16.

Tabela 15: Escores de eficiência do modelo A

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U4M1	jan/17	0,48	0,64	0,75	1,00	0,82	0,82
U4M2	fev/17	0,73	1,00	0,73	1,00	0,82	0,82
U4M3	mar/17	0,89	1,00	0,89	1,00	1,00	1,00
U4M4	abr/17	0,78	1,00	0,78	1,00	0,75	0,75
U4M5	mai/17	0,81	1,00	0,81	1,00	0,79	0,79
U4M6	jun/17	0,67	0,93	0,72	0,98	0,77	0,77
U4M7	jul/17	0,65	0,91	0,72	0,92	0,71	0,71
U4M8	ago/17	0,76	1,00	0,76	1,00	0,78	0,78
U4M9	set/17	0,67	1,00	0,67	1,00	0,77	0,77
U4M10	out/17	0,58	0,83	0,70	0,97	0,73	0,73
U4M11	nov/17	0,70	0,98	0,71	1,00	0,72	0,72

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U4M12	dez/17	0,58	0,79	0,73	0,85	0,65	0,65
U4M13	jan/18	0,56	0,84	0,66	1,00	0,63	0,63
U4M14	fev/18	0,59	0,80	0,74	1,00	0,65	0,65
U4M15	mar/18	0,78	1,00	0,78	1,00	0,77	0,77
U4M16	abr/18	0,65	0,81	0,80	1,00	0,82	0,82
U4M17	mai/18	0,59	0,74	0,79	1,00	0,83	0,83
U4M18	jun/18	0,61	0,88	0,69	0,96	0,63	0,63
U4M19	jul/18	0,50	0,83	0,61	0,72	0,43	0,43
U4M20	ago/18	0,56	0,79	0,71	0,74	0,48	0,48
U4M21	set/18	0,59	0,99	0,60	0,85	0,59	0,59
U4M22	out/18	0,57	1,00	0,57	0,99	0,59	0,59
U4M23	nov/18	0,52	0,88	0,59	0,86	0,55	0,55
U4M24	dez/18	0,53	0,93	0,57	0,94	0,57	0,57
U4M25	jan/19	0,50	0,90	0,55	0,94	0,53	0,53
U4M26	fev/19	0,53	1,00	0,53	1,00	0,62	0,62
U4M27	mar/19	0,52	1,00	0,52	0,87	0,55	0,55
U4M28	abr/19	0,58	1,00	0,58	1,00	0,71	0,71
U4M29	mai/19	0,54	1,00	0,54	0,93	0,60	0,60
U4M30	jun/19	0,51	0,95	0,54	0,92	0,52	0,52
U5M1	jan/17	0,49	0,73	0,66	0,80	0,52	0,52
U5M2	fev/17	0,56	0,77	0,73	0,99	0,56	0,56
U5M3	mar/17	0,62	0,91	0,68	1,00	0,58	0,58
U5M4	abr/17	0,51	0,76	0,67	0,94	0,54	0,54
U5M5	mai/17	0,51	1,00	0,51	1,00	0,47	0,47
U5M6	jun/17	0,53	0,91	0,59	0,92	0,46	0,46
U5M7	jul/17	0,62	0,99	0,63	0,84	0,47	0,47
U5M8	ago/17	0,63	0,97	0,64	1,00	0,47	0,47
U5M9	set/17	0,71	0,91	0,78	0,92	0,55	0,55
U5M10	out/17	0,63	0,73	0,86	0,73	0,54	0,54
U5M11	nov/17	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,77
U5M12	dez/17	0,91	1,00	0,91	1,00	0,77	0,77
U5M13	jan/18	0,77	0,95	0,81	0,87	0,63	0,63
U5M14	fev/18	0,59	0,83	0,70	0,87	0,50	0,50
U5M15	mar/18	0,62	0,92	0,67	0,85	0,49	0,49
U5M16	abr/18	0,55	0,75	0,73	0,69	0,45	0,45
U5M17	mai/18	0,81	0,95	0,85	0,93	0,67	0,67
U5M18	jun/18	0,83	1,00	0,83	1,00	0,75	0,75
U5M19	jul/18	0,84	1,00	0,84	1,00	0,77	0,77
U5M20	ago/18	0,88	1,00	0,88	1,00	0,74	0,74
U5M21	set/18	0,60	1,00	0,60	0,69	0,47	0,47
U5M22	out/18	0,58	1,00	0,58	0,94	0,39	0,39
U5M23	nov/18	0,51	0,93	0,55	1,00	0,43	0,43
U5M24	dez/18	0,41	0,75	0,55	0,59	0,27	0,27

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U5M25	jan/19	0,48	0,90	0,54	0,86	0,36	0,36
U5M26	fev/19	0,41	0,93	0,44	0,75	0,28	0,28
U5M27	mar/19	0,50	1,00	0,50	0,92	0,39	0,39
U5M28	abr/19	0,50	1,00	0,50	0,90	0,35	0,35
U5M29	mai/19	0,55	0,99	0,56	1,00	0,43	0,43
U5M30	jun/19	0,54	1,00	0,54	1,00	0,42	0,42

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Tabela 16 apresenta os escores para as seis medidas de eficiências referentes aos cálculos da eficiência econômica (EE), eficiência técnica (ET), eficiência alocativa (EA), eficiência financeira aberta (EFA), eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ).

Tabela 16: Resumo das eficiências do modelo A

MODELO A	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
EE	60	0,62	0,13	0,58	0,10	0,41	1,00	0,02
ET	60	0,92	0,10	0,95	0,08	0,64	1,00	0,01
EA	60	0,68	0,12	0,68	0,15	0,44	1,00	0,02
EFA	60	0,92	0,10	0,96	0,05	0,59	1,00	0,01
EFF	60	0,60	0,16	0,58	0,19	0,27	1,00	0,02
RZ	60	0,60	0,16	0,58	0,19	0,27	1,00	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode se observar a partir da Tabela 16 que a eficiência técnica (ET) e a financeira aberta (EFA) tiveram em média os melhores desempenhos (0,92) em relação as demais eficiências medidas. Se verifica também que ambas eficiências apresentam os mesmos níveis de desvios padrão (SD) (0,10) e erro padrão (SE) (0,10). Nesse sentido, para o MA, a agregação dos preços médios das variáveis no modelo não se apresentou como um diferencial para o cálculo de eficiência, entretanto, o índice de correlação entre essas eficiências foi positivo de 0,39. Os índices de correlação são apresentados na Tabela 17.

Nas Tabelas 15 e 16 pode-se observar que os resultados de eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) apresentam os mesmos valores e que ambas eficiências tiveram o menor desempenho (0,60) e o maior desvio padrão (0,16) entre

as eficiências calculadas e, como esperado, estão correlacionadas entre si (1,00) conforme apresentado na Tabela 17.

A eficiência alocativa (AE) apresentou um desempenho melhor que a eficiência financeira fechada (EFF) com uma média de 0,68 e um desvio padrão de 0,12. Em relação a eficiência técnica (ET) apresentou um resultado a menor, com 0,24 pontos percentuais de diferença. Tal fato indica que existem oportunidades para uma melhor alocação dos preços das variáveis. Ao analisar a Tabela 17 pode-se observar que a EA tem uma fraca e negativa correlação (-0,11) com a ET e uma forte e positiva correlação (0,85) com a EE. Destaca-se que no MA a alocação dos preços (custos) das variáveis impacta positivamente na EE.

A EE apresenta um dos menores índices medidos de eficiência com 0,62 e um desvio padrão de 0,13. Ao observar a Tabela 17 verifica-se que existe uma forte e positiva correlação com a eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) (0,71) e com a EA (0,85) apresentada anteriormente. Em relação a eficiência técnica (ET) existe uma fraca correlação (0,43), o que indica, que o enfoque em melhorias em tecnologias, operações e processos, sem uma avaliação dos custos envolvidos, como o dos insumos, não produzem efeitos positivos na eficiência econômica (EE) do modelo A.

Tabela 17: Resultados de correlação das eficiências para o modelo A

MODELO A	EE	ET	EA	EFA	EFF	RZ
EE	1,00					
ET	0,43	1,00				
EA	0,85	-0,11	1,00			
EFA	0,42	0,39	0,26	1,00		
EFF	0,71	0,11	0,73	0,60	1,00	
RZ	0,71	0,11	0,73	0,60	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nesse sentido, a partir da Tabela 15 e da Tabela 16 observa-se que ao avaliar o MA a partir apenas da perspectiva da eficiência técnica (ET) limita-se o percentual de melhoria (0,08), ou seja, existe um reduzido espaço de ação dos gestores em relação ao que pode ser feito no processo fabril. Entretanto, ao levar em consideração os preços médios das variáveis, tanto a EA quanto a EE esse espaço de ação se eleva (0,32) e outras intervenções podem ser consideradas, como negociações com

fornecedores, trocas de insumos, aumento no preço de venda dos produtos, ajustes salariais e entre outros.

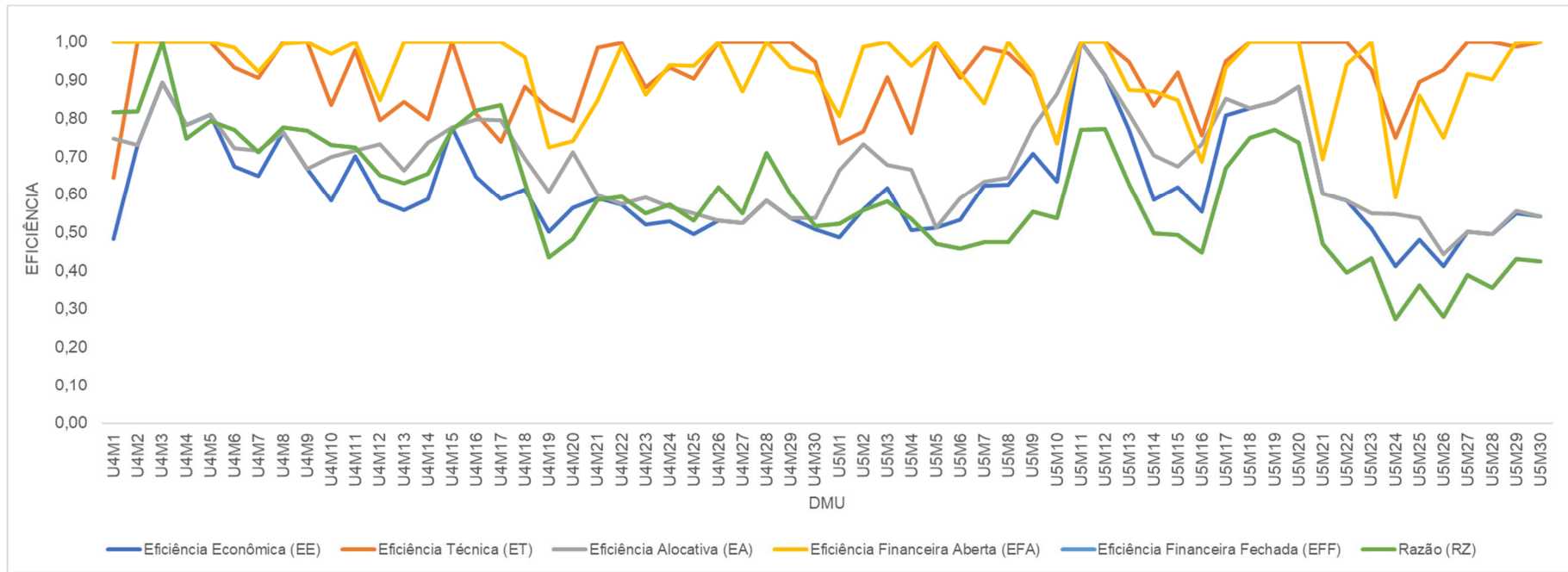
O Gráfico 10 objetiva facilitar a apresentação dos resultados apresentados na Tabela 15. Procurou-se ilustrar a evolução das eficiências ao longo do período avaliado de maneira que possibilite visualizar a tendência da evolução dos escores ao longo da série temporal. O Gráfico 10 apresenta as 60 DMUs em análise do modelo A que é composto por duas unidades produtivas da empresa estudada, a unidade quatro (U4) e a unidade cinco (U5) que produzem calçados esportivos.

Ao analisar o Gráfico 10 é possível observar que tanto a eficiência técnica (ET) quanto a eficiência financeira aberta (EFA) apresentam os melhores resultados de eficiência em comparação as demais, tendo seus pontos mínimos nas DMUS referentes a unidade cinco (U5) U5M1 (jan/2017), U5M10 (out/2017), U5M16 (abril/2018) e U5M24 (dez/2018). Ao analisar a Tabela 15 e o Gráfico 10, pode-se perceber que para as DMUs da unidade quatro (U4), a DMU U4M1 (jan/2017) foi a DMU de pior desempenho entre as demais, seguido pelas U4M12 (dez/17), U4M17 (mai/2018) e U4M20 (ago/2018). Observa-se que os períodos de pior eficiência identificados no Gráfico 10 e na Tabela 15 para a ET e EFA coincidem com momentos de troca de coleção dos clientes de cada uma das unidades, em que, tanto para a unidade quatro quanto para a unidade cinco ocorrem nos períodos de abril/maio e novembro/dezembro.

Ainda no Gráfico 10, pode-se observar o comportamento da EE, EA, EFF e RZ apresentam uma mesma tendência, mostrando uma evolução negativa no período de tempo analisado para cada uma das unidades. Destaca-se a RZ, que apesar de não utilizar a DEA para o cálculo de eficiência, tem uma aproximação com a curva de EE que utiliza DEA, tal fato também pode ser observado na Tabela 17, onde é apresentada uma correlação forte e positiva de 0,71.

As DMUs consideradas eficientes na DEA servem de referência (*benchmarking* interno) para as ineficientes e possibilitam comparar e avaliar a proximidade em relação a DMU referência (*benchmarking*), ou seja, se a DMU em análise está na fronteira eficiente. Ao analisar o Tabela 15 e o Gráfico 10, observa-se que para a EE o melhor desempenho ocorreu na DMU U5M11 (nov/2017).

Gráfico 10: Evolução das eficiências do modelo A



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O mês de novembro historicamente é um mês em que tem início a produção das novas coleções e é um período em que não são concedidas férias, ou seja, as unidades têm elevada utilização da capacidade produtiva. Destaca-se também que o mês de novembro é onde ocorre a produção dos calçados que serão comercializados nas ações de vendas de final de ano.

Os menores desempenhos de eficiência econômica (EE) estão relacionados com as DMUS U4M1 (jan/2017), U4M19 (jul/2018), U4M25 (jan/2019), U5M1 (jan/2017), U5M24 (dez/2018), U5M25 (jan/2019), U5M26 (fev/2019), U5M27 (mar/2019) e U5M28 (abril/2019). Tais resultados podem ser explicados, primeiro, por se tratar do período histórico de férias dessas unidades (dezembro/janeiro) e, assim, um período de menor demanda por parte dos clientes e, por fim, produção. E, segundo, a partir de 2019 alterações nos *mix* de produtos ocorrido pelo posicionamento estratégico dos clientes.

A Tabela 18 apresenta os escores de correlação dos seis tipos eficiências com o volume (VOL), preço médio (PM), resultado (RS) e custo do produto (CST) para o modelo A. Observa-se que o volume (VOL) apresentou uma forte correlação positiva com a eficiência econômica (EE) de 0,59, a maior dentre as medidas de eficiência. Destaca-se que o preço médio (PM) apresenta uma fraca e negativa correlação com a eficiência técnica (ET) de -0,46 e com a eficiência econômica (EE) de -0,13.

Tabela 18: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo A

MODELO A	EE	ET	AE	EFA	EFF	RZ	VOL	PM	RS	CST
EE	1,00									
ET	0,43	1,00								
AE	0,85	-0,11	1,00							
EFA	0,42	0,39	0,26	1,00						
EFF	0,71	0,11	0,73	0,60	1,00					
RZ	0,71	0,11	0,73	0,60	1,00	1,00				
VOL	0,59	0,41	0,40	0,51	0,57	0,57	1,00			
PM	-0,13	-0,46	0,14	0,26	0,14	0,14	-0,28	1,00		
RS	0,45	0,16	0,40	0,27	0,30	0,30	0,50	0,24	1,00	
CST	-0,68	-0,22	-0,64	-0,51	-0,89	-0,89	-0,54	0,19	-0,12	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nesse sentido, observa-se que no MA melhorias em ET pode tendem a apresentar o efeito contrário em PM, ou seja, os gestores ao focar em eficiência técnica (melhor utilização dos recursos de produção e tecnologias) sem considerar a composição do mix de produtos podem estar produzindo calçados que não agregam

valor. Corrobora para tal afirmação a correlação fraca e negativa da EA com ET de -0,11.

A correlação de PM e EFA é fraca e positiva de 0,26, isso significa que na medida de eficiência financeira aberta o PM tem uma menor influência do que o VOL, que tem uma correlação forte e positiva de 0,51. Nesse sentido, essa medida sofre elevada influência do volume de produção o que pode prejudicar a avaliação dos gestores.

Observa-se na Tabela 18 a fraca e negativa correlação entre EE e ET (-0,11) e a forte e positiva correlação entre EE e EA (0,85). Isso significa que a EE é altamente impactada pela alocação dos preços das variáveis do modelo. Nesse sentido, pode-se verificar que o custo do produto (CST) apresenta uma correlação forte e negativa em relação a EE (-0,68), ou seja, melhorias no preço dos insumos refletem melhorias no indicador de EE. Entretanto, ao analisar a ET este comportamento não é observado, ou seja, melhorias no custo dos insumos não apresentam elevadas melhorias na ET. Tal fato é esperado, visto que, o modelo de ET não leva em consideração os custos dos insumos, entretanto é necessário que os gestores compreendam e tenham ciência de tal informação. Ao analisar a EFA, que utiliza as variáveis abertas para o cálculo financeiro dos insumos no modelo, observou-se uma correlação forte e negativa com o CST de -0,51, ou seja, mesmo agregando os custos dos insumos ao modelo de eficiência técnica e realizando ações de melhorias, para a redução desses custos, este indicador apresentaria ainda uma reduzida melhoria em relação a EE. A Tabela 19 e o Anexo G apresentam a variação entre períodos do volume dos *inputs* da unidade 4 que compõe o MA.

Tabela 19: Resumo da variação do volume dos *inputs* da unidade 4 – modelo A

UNIDADE 4	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m ²)	Forro (m ²)	Sola (m ²)	Tecido (m ²)
MÍNIMO	0,000	0,000	0,000	0,018	0,009	2,925	0,286	0,142	2,383	0,031
MÁXIMO	0,328	0,081	0,403	3,288	0,751	156,166	5,053	40,420	166,073	14,533
MÉDIA	0,032	0,011	0,053	0,737	0,303	50,943	1,789	14,599	54,161	4,779
DESV. PAD.	0,061	0,017	0,082	0,825	0,224	35,842	1,185	9,787	37,194	4,208

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar em relação ao volume de mão-de-obra existe uma reduzida variação e que em relação aos materiais, onde existe a dependência do mix de

produtos e coleção de cada um dos clientes essa é mais representativa com maiores desvios-padrões. Em relação aos preços das variáveis a Tabela 20 e o Anexo G apresentam o resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 4 – modelo A.

Tabela 20: Resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 4 – modelo A

UNIDADE 4	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m ²)	Forro (m ²)	Sola (m ²)	Tecido (m ²)
MÍNIMO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MÁXIMO	0,052	0,089	0,002	0,041	0,176	0,000	0,009	0,003	0,014	0,005
MÉDIA	0,014	0,030	0,001	0,006	0,055	0,000	0,003	0,001	0,003	0,001
DESV. PAD.	0,013	0,024	0,001	0,010	0,039	0,000	0,003	0,001	0,004	0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar que para a unidade A os preços dos insumos apresentam reduzida variação média e um reduzido desvio padrão. A seguir na Tabela 21 e no Anexo H são apresentados os resumos de variação do volume dos *inputs* da unidade 5 do modelo A.

Tabela 21: Resumo da variação do volume dos *inputs* da unidade 5 – modelo A

UNIDADE 5	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m ²)	Forro (m ²)	Sola (m ²)	Tecido (m ²)
MÍNIMO	0,002	0,000	0,016	0,068	0,018	2,273	0,130	0,593	4,513	0,048
MÁXIMO	0,130	0,047	1,899	4,174	0,785	124,768	6,130	27,436	136,673	11,312
MÉDIA	0,021	0,013	0,486	0,879	0,220	46,481	2,057	12,298	49,433	4,435
DESV. PAD.	0,025	0,012	0,527	0,935	0,164	35,294	1,479	8,872	41,684	3,293

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Do mesmo modo, pode-se observar em relação ao volume de mão-de-obra existe uma reduzida variação e que em relação aos materiais, onde existe a dependência do mix de produtos e coleção de cada um dos clientes essa é mais representativa com maiores desvios-padrões. Em relação aos preços das variáveis a Tabela 21 e o Anexo H apresentam o resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 5 – modelo A.

Tabela 22: Resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 5 – modelo A

UNIDADE 5	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m ²)	Forro (m ²)	Sola (m ²)	Tecido (m ²)
MÍNIMO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MÁXIMO	0,094	0,253	0,007	0,033	0,199	0,000	0,009	0,011	0,020	0,010
MÉDIA	0,012	0,032	0,001	0,008	0,047	0,000	0,003	0,003	0,007	0,002
DESV. PAD.	0,018	0,046	0,002	0,009	0,045	0,000	0,002	0,002	0,008	0,002

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar que para a unidade A os preços dos insumos apresentam reduzida variação média e um reduzido desvio padrão. A seguir serão apresentadas as análises estatísticas para o modelo A.

5.1.1.1 Análises estatísticas do modelo A

A aplicação do teste de Shapiro-Wilk tem o propósito de verificar a normalidade dos dados e é sintetizado na Tabela 23.

Tabela 23: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo A

Tipo de Eficiência	Shapiro-Wilk (Sign.)	Resultado	Análise
EE	0,053%	Aceita H ₀	Os dados são normais
ET	0,000%	Rejeita H ₀	Os dados não são normais
EA	22,101%	Aceita H ₀	Os dados são normais
EFA	0,000%	Rejeita H ₀	Os dados não são normais
EFF	29,459%	Aceita H ₀	Os dados são normais
RZ	29,459%	Aceita H ₀	Os dados são normais

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 23, percebe-se que segundo o teste de Shapiro-Wilk, no que se refere aos resultados da eficiência econômica (EE), eficiência alocativa (EA), da eficiência financeira fechada (EFF) no período no período analisado, os dados são normais (homogêneos) com um nível de significância maior que 0,05. Entretanto, para a eficiência técnica (ET) e a eficiência financeira aberta (EFA), os dados diferem de uma distribuição normal, ou seja, os dados não são normais (heterogêneos) com um nível de significância menor que 0,05. Deste modo,

não se pode aceitar a hipótese de que os dados constituem uma distribuição normal. Quanto ao teste de Levene, o resultado obtivo (*Sign.* = 0,4071) também permite rejeitar a hipótese de que os dados são homogêneos, portanto, se rejeita a hipótese de igualdade das variâncias.

Logo, para testar as hipóteses de pesquisa, em relação às diferenças entre as médias da eficiência econômica (EE) com as demais, o teste não paramétrico de Wilcoxon foi realizado. Os dados utilizados para avaliação do teste Wilcoxon foram os escores calculados para cada tipo de eficiência para o modelo A (Tabela 15) e são sintetizados na Tabela 24.

Tabela 24: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo A

Tipo de Eficiência	<i>p-value</i>	Resultado	Análise
EE/ET	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EA	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EFA	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EFF	5,61%	Aceita H_0	Não há diferença significativa
EE/RZ	5,61%	Aceita H_0	Não há diferença significativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 24, percebe-se que segundo o teste de Wilcoxon, rejeita-se a hipótese nula H_0 e aceita-se a hipótese alternativa H_1 , *p-value* < 0,05 (5%) para os pares de eficiência EE/ET, EE/EA e EE/EFA. Ou seja, existe uma diferença estatisticamente significativa da eficiência econômica (EE) com a eficiência técnica (ET), eficiência alocativa (EA) e a eficiência financeira aberta (EFA) no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%. Em relação aos pares de eficiência EE/EFF e EE/RZ não há diferença significativa *p-value* > 0,05 (5%) no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%, o que permite aceitar a hipótese H_0 de que existe diferença significativa entre as eficiências avaliadas.

Com os resultados apresentados na Tabela 24 observa-se que não há diferença significativa entre as eficiências econômica e eficiência financeira fechada e a eficiência econômica e a razão, ou seja, ambas medidas podem ser utilizadas para avaliar a eficiência econômica geral do MA. Entretanto, a EE medida pelo modelo DEA apresenta vantagens em relação às demais pela possibilidade de decomposição das eficiências em técnica e alocativa. Outro aspecto é em relação à agregação dos dados da eficiência financeira fechada e a razão, que não permite a identificação das relações entre volume e preço médio.

5.1.2 Análise da eficiência do MODELO B (MB)

A análise do comportamento dos seis tipos de eficiência ao longo do tempo objetiva auxiliar a avaliação do modelo B e é apresentada na Tabela 25. Dessa forma, repetem-se os mesmos procedimentos realizados para analisar o comportamento das eficiências para o modelo A.

Tabela 25: Escores de eficiência do modelo B

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U1M1	jan/17	0,63	1,00	0,63	1,00	0,52	0,52
U1M2	fev/17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
U1M3	mar/17	0,71	0,94	0,75	1,00	0,62	0,62
U1M4	abr/17	0,52	0,76	0,69	0,76	0,51	0,51
U1M5	mai/17	0,69	0,88	0,78	0,90	0,66	0,66
U1M6	jun/17	0,51	0,72	0,71	0,98	0,69	0,69
U1M7	jul/17	0,67	0,83	0,81	0,87	0,70	0,70
U1M8	ago/17	0,62	0,80	0,78	0,84	0,65	0,65
U1M9	set/17	0,84	1,00	0,84	1,00	0,89	0,89
U1M10	out/17	0,48	0,64	0,75	0,61	0,45	0,45
U1M11	nov/17	0,71	1,00	0,71	1,00	0,61	0,61
U1M12	dez/17	0,66	0,86	0,77	0,83	0,65	0,65
U1M13	jan/18	0,66	0,85	0,78	0,82	0,64	0,64
U1M14	fev/18	0,62	1,00	0,62	0,92	0,43	0,43
U1M15	mar/18	0,66	1,00	0,66	1,00	0,49	0,49
U1M16	abr/18	0,71	1,00	0,71	0,95	0,62	0,62
U1M17	mai/18	0,55	0,79	0,69	0,94	0,58	0,58
U1M18	jun/18	0,62	0,86	0,72	1,00	0,70	0,70
U1M19	jul/18	0,65	0,95	0,68	1,00	0,81	0,81
U1M20	ago/18	0,64	0,98	0,66	1,00	0,72	0,72
U1M21	set/18	0,68	1,00	0,68	1,00	0,67	0,67
U1M22	out/18	0,54	1,00	0,57	0,93	0,43	0,43
U1M23	nov/18	0,63	1,00	0,63	1,00	0,51	0,51
U1M24	dez/18	0,59	0,95	0,62	0,94	0,46	0,46
U1M25	jan/19	0,60	1,00	0,60	1,00	0,47	0,47
U1M26	fev/19	0,61	1,00	0,61	1,00	0,47	0,47
U1M27	mar/19	0,58	1,00	0,58	1,00	0,46	0,46
U1M28	abr/19	0,55	1,00	0,55	1,00	0,43	0,43
U1M29	mai/19	0,56	1,00	0,56	1,00	0,50	0,50
U1M30	jun/19	0,52	0,98	0,53	1,00	0,47	0,47

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 25 estão relacionados, em ordem cronológica, os 30 meses que representam o período de análise de dois anos e meio consecutivos (janeiro de 2017 a junho de 2019) totalizando 30 DMUs. Os resultados são sumarizados na Tabela 26. Nesse sentido, apresentam-se os escores os seis tipos de eficiências referentes aos cálculos da eficiência econômica (EE), eficiência técnica (ET), eficiência alocativa (EA), eficiência financeira aberta (EFA), eficiência financeira fechada (EFF) efetuados na Análise Envoltória de Dados (DEA) e a razão (RZ).

Tabela 26: Resumo das eficiências do modelo B

MODELO B	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
EE	30	0,63	0,10	0,63	0,08	0,48	1,00	0,02
ET	30	0,92	0,10	0,98	0,03	0,64	1,00	0,02
EA	30	0,69	0,10	0,69	0,10	0,53	1,00	0,02
EFA	30	0,94	0,09	1,00	0,00	0,61	1,00	0,02
EFF	30	0,59	0,14	0,60	0,15	0,43	1,00	0,03
RZ	30	0,59	0,14	0,60	0,15	0,43	1,00	0,03

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode se observar a partir da Tabela 26 que a eficiência financeira aberta (EFA) apresentou o melhor desempenho médio (0,94) com menor desvio padrão (0,09). A eficiência técnica (ET) teve o segundo melhor desempenho com (0,92) e um desvio padrão de (0,10) e ambas apresentaram um reduzido erro padrão (SE) (0,02). Nesse sentido, para o MB, a agregação dos preços médios das variáveis no modelo apresentou um melhor resultado no cálculo de eficiência. As eficiências ET e EFA apresentam uma forte e positiva correlação de 0,94. Os índices de correlação são apresentados na Tabela 27.

Na Tabela 25 e na Tabela 26 pode se observar que os resultados de eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) apresentam os mesmos valores e ambas eficiências tiveram o menor desempenho (0,59) e o maior desvio padrão (0,14) entre as eficiências calculadas e, como esperado, estão correlacionadas entre si (1,00) conforme apresentado na Tabela 27.

A eficiência alocativa (AE) apresentou um desempenho melhor que a eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) com uma média de 0,69 e um desvio padrão de 0,10. Em relação a eficiência financeira aberta (EFA) apresentou um resultado a menor, com 0,35 pontos percentuais de diferença. Ao analisar a Tabela 27 pode-se

observar que a EA tem uma fraca e positiva correlação (0,49) com a ET e uma forte e positiva correlação (0,89) com a EE.

Tabela 27: Escores de correlação para o modelo B

MODELO B	EE	ET	EA	EFA	EFF	RZ
EE	1,00					
ET	0,70	1,00				
EA	0,89	0,49	1,00			
EFA	0,68	0,94	0,54	1,00		
EFF	0,86	0,41	0,87	0,50	1,00	
RZ	0,86	0,41	0,87	0,50	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A EE apresenta um dos menores índices medidos de eficiência com 0,63 e um desvio padrão de 0,10. Ao observar a Tabela 27 verifica-se que existe uma forte e positiva correlação com a eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) (0,86) e com a EA (0,89) apresentada anteriormente. Em relação a eficiência técnica (ET) existe uma fraca e positiva correlação (0,49), o que indica, que o enfoque em melhorias em tecnologias, operações e processos, sem uma avaliação dos custos envolvidos, como o dos insumos, não produzem efeitos positivos na eficiência econômica (EE) do modelo B.

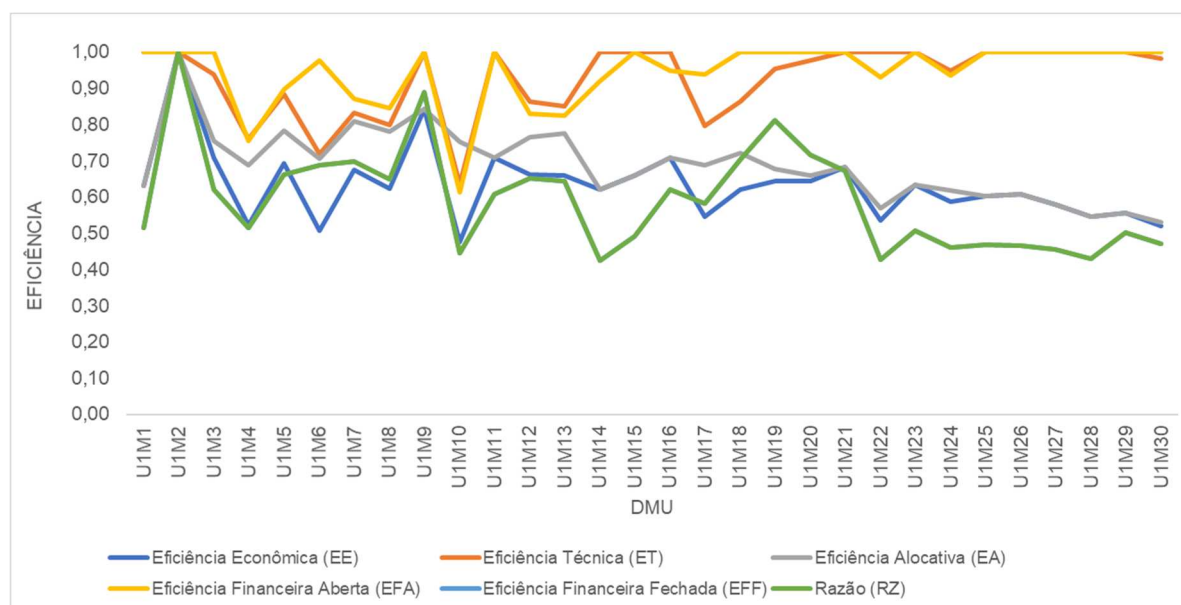
Nesse sentido, a partir da Tabela 25 e da Tabela 26 observa-se que ao avaliar o MB a partir apenas da perspectiva da eficiência financeira aberta (EFA) e da eficiência técnica (ET) pode limitar o percentual de melhoria (0,06 e 0,08 respectivamente), ou seja, existe um reduzido espaço de ação para os gestores incrementarem os níveis de eficiência em relação ao que pode ser feito no processo fabril. Entretanto, ao considerar os preços médios das variáveis, tanto a EA quanto a EE, apresentam um espaço de ação maior (0,31 e 0,37 respectivamente). Ou seja, outras intervenções podem ser consideradas e que não estão relacionadas com a tecnologia fabril, como por exemplo, negociações de preços e lotes com fornecedores, trocas de insumos, aumento no preço de venda dos produtos, ajustes salariais e entre outros.

O Gráfico 11 objetiva facilitar a apresentação dos resultados apresentados na Tabela 25. Procurou-se ilustrar a evolução das eficiências ao longo do período avaliado de maneira que possibilite visualizar a tendência da evolução dos escores ao longo da série temporal. O Gráfico 11 apresenta as 30 DMUs em análise do modelo

B que é composto pela unidade produtiva de calçados femininos sediada no estado do Ceará (U1).

Ao analisar o Gráfico 11 é possível observar que tanto a eficiência técnica (ET) quanto a eficiência financeira aberta (EFA) apresentam os melhores resultados de eficiência em comparação com as demais, tendo seus pontos mínimos nas DMUS referentes U1M4 (abril/2017), U1M6 (jun/2017) e U1M10 (out/2017) referente a ET e U1M4 (abril/2017) e U1M10 (out/2017) referente a EFA. O grupo de especialistas da empresa (Quadro 12) relata que é uma característica da unidade do modelo B as trocas de coleções e *mix* de produtos ocorrerem nos períodos de abril, junho, outubro e dezembro, visto que, esta unidade atende com exclusividade um cliente com elevado *market share* internacional.

Gráfico 11: Evolução das eficiências do modelo B



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Observa-se a partir do Gráfico 11 e da Tabela 25 que da DMU U1M1 até a U1M17 (janeiro de 2017 a maio de 2018) há uma elevada variação nos níveis de eficiência para os tipos avaliados e que da DMU U1M17 até a U1M30 (maio de 2018 a junho de 2019) essa variação é suavizada. O grupo de especialistas da empresa relata que no período de janeiro de 2017 a maio de 2018 o mix de calçados era composto por uma elevada variedade de modelos com pequenos lotes de produção e que a partir de maio de 2018 até junho de 2019 ocorreram reduções no mix de produtos e os lotes de produção aumentaram. Como exemplo, os especialistas

relatam que as coleções de 2017/2018 eram compostas por botas e sapatos fechados e que, a partir de 2018/2019 as coleções eram compostas por sandálias e sapatilhas.

As DMUs consideradas eficientes na DEA servem de referência (*benchmarking* interno) para as ineficientes e possibilitam comparar e avaliar a proximidade em relação a DMU referência (*benchmarking*), ou seja, se a DMU em análise está na fronteira eficiente. Ao analisar a Tabela 25 e o Gráfico 11, observa-se que para a EE o melhor desempenho ocorreu na DMU U1M2 (fev/2017). Os especialistas da empresa relatam que o resultado de 1,00 de eficiência no mês de fevereiro de 2017 pode ser explicado pelo mix de produtos produzidos e faturados no período da coleção inverno internacional, com um maior valor agregado.

Os menores desempenhos de eficiência econômica (EE) estão relacionados com as DMUS U1M4 (abril/2017), U1M6 (jun/2017), U1M10 (out/2017), U1M17 (mai/2018), U1M22 (out/2018), U1M28 (abril/2019) e U1M30 (jun/2019). Conforme os especialistas da empresa, os períodos de abril, junho e outubro são períodos de mudança de coleção e mix de produtos por parte dos clientes. Destaca-se que os períodos de reduzida ineficiência econômica coincidem com os períodos de ineficiência técnica e financeira aberta.

Tabela 28: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo B

MODELO B	EE	ET	AE	EFA	EFF	RZ	VOL	PM	RS	CST
EE	1,00									
ET	0,39	1,00								
AE	0,73	-0,34	1,00							
EFA	0,31	0,78	-0,28	1,00						
EFF	0,76	-0,06	0,81	0,15	1,00					
RZ	0,76	-0,06	0,81	0,15	1,00	1,00				
VOL	0,38	0,20	0,24	0,43	0,54	0,54	1,00			
PM	0,43	0,55	0,04	0,41	0,07	0,07	0,66	1,00		
RS	-0,10	-0,44	0,21	0,06	0,54	0,54	0,42	-0,38	1,00	
CST	0,14	0,22	-0,05	0,45	0,28	0,28	0,64	0,38	0,34	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Tabela 28 apresenta os escores de correlação dos seis tipos de eficiências com o volume (VOL), preço médio (PM), resultado (RS) e custo do produto (CST) para o modelo B. Observa-se que o VOL apresenta o menor índice de correlação com a ET, com 0,20 e seguido pela EA com 0,24. Outro aspecto observado é a correlação forte e positiva do PM com ET. Os especialistas apontam que os resultados de

correlação são coerentes, visto que, a unidade em análise tem uma elevada produção com grandes lotes de alto valor agregado.

Em relação a EE, observa-se a fraca e negativa correlação entre EE e ET (-0,34) e a forte e positiva correlação entre EE e EA (0,73). Tais resultados apontam para ações que envolvam a alocação dos custos das variáveis. Nesse sentido, pode-se verificar que o custo do produto (CST) apresenta uma correlação fraca e negativa em relação a EE (-0,44), ou seja, melhorias no preço dos insumos refletem melhorias no índice de eficiência econômica (EE). Entretanto, como esperado, ao analisar a ET este comportamento não é observado, ou seja, melhorias no custo dos insumos não apresentam melhorias na ET dado que esta medida de eficiência não leva em consideração os custos dos insumos, entretanto é necessário que os gestores compreendam tal fato.

Ao analisar a EA, que utiliza os custos dos insumos no modelo a partir do cálculo da EE, observou-se uma correlação forte e negativa com o CST (-0,70). Nesse sentido, ao melhorar os custos dos insumos ocorre também uma melhora na alocação dos custos das variáveis. Ainda na Tabela 28, pode-se observar a correlação forte e positiva (0,45) do resultado (RS) com a eficiência financeira aberta (EFA). Isso quer dizer que os gestores ao realizarem ações de melhoria na EFA, tanto nos volumes quanto nos custos das variáveis pode-se observar também uma melhora no resultado da empresa. A Tabela 29 e o Anexo I apresentam a variação entre períodos do volume dos *inputs* da unidade 1 do MB.

Tabela 29: Resumo da variação do volume dos *inputs* da unidade 5 – modelo B

UNIDADE 1	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
MÍNIMO	0,000	0,000	0,000	0,007	0,004	0,088	0,023	0,092	4,181	0,200
MÁXIMO	0,164	0,061	24,337	6,157	0,281	185,751	5,663	14,004	129,782	37,394
MÉDIA	0,021	0,011	3,534	1,213	0,079	30,241	1,833	4,781	33,438	9,326
DESV. PAD.	0,031	0,015	4,859	1,641	0,070	38,622	1,513	3,781	25,500	8,788

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar em relação ao volume de mão-de-obra direta e indireta existe uma reduzida variação e que em relação aos materiais (couro, forro, sola e tecido), onde existe a dependência do mix de produtos e coleção de cada um dos clientes essa é mais representativa com maiores desvios-padrões. Em relação aos preços das

variáveis a Tabela 30 e o Anexo I apresentam o resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 1 do MB.

Tabela 30: Resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 1 – modelo B

UNIDADE 1	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
MÍNIMO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MÁXIMO	0,059	0,112	0,006	0,012	0,278	0,000	0,034	0,030	0,029	0,056
MÉDIA	0,014	0,029	0,001	0,003	0,083	0,000	0,005	0,004	0,008	0,012
DESV. PAD.	0,015	0,029	0,001	0,003	0,062	0,000	0,007	0,006	0,007	0,014

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar que para a unidade B os preços dos *inputs* apresentam reduzida variação média e um reduzido desvio padrão. Nesse sentido, os resultados apontam para a unidade B que existe uma elevada influência do volume de produção em relação ao preço médio. Ao analisar a Tabela 28, observa-se que existem correlações fortes e positivas com EE e ET (0,43 e 0,55) com o PM. Isso significa dizer que, o cliente está disponível a elevar seu preço médio, ou seja, pagar mais, por uma melhor eficiência econômica e técnica. A seguir serão apresentadas as análises estatísticas para o modelo B.

5.1.2.1 Análises estatísticas do modelo B

A aplicação do teste de Shapiro-Wilk tem o propósito de verificar a normalidade dos dados e é sintetizado na Tabela 31.

Tabela 31: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo B

Tipo de Eficiência	Shapiro-Wilk (Sign.)	Resultado	Análise
EE	0,189%	Aceita H_0	Os dados são normais
ET	0,003%	Rejeita H_0	Os dados não são normais
EA	17,000%	Aceita H_0	Os dados são normais
EFA	0,000%	Rejeita H_0	Os dados não são normais
EFF	0,971%	Aceita H_0	Os dados são normais
RZ	0,971%	Aceita H_0	Os dados são normais

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 31, percebe-se que segundo o teste de Shapiro-Wilk, no que se refere aos resultados da eficiência econômica (EE), eficiência alocativa (EA), da eficiência financeira fechada (EFF) no período no período analisado, os dados são normais (homogêneos) com um nível de significância maior que 0,05. Entretanto, para a eficiência técnica (ET) e a eficiência financeira aberta (EFA), os dados diferem de uma distribuição normal, ou seja, os dados não são normais (heterogêneos) com um nível de significância menor que 0,05. Deste modo, não se pode aceitar a hipótese de que os dados constituem uma distribuição normal. Quanto ao teste de Levene, o resultado obtivo (*Sign.* = 0,2432) também permite rejeitar a hipótese de que os dados são homogêneos, portanto, se rejeita a hipótese de igualdade das variâncias.

Logo, para testar as hipóteses de pesquisa, em relação às diferenças entre as médias da eficiência econômica (EE) com as demais, o teste não paramétrico de Wilcoxon foi realizado. Os dados utilizados para avaliação do teste Wilcoxon foram os escores calculados para cada tipo de eficiência para o modelo B (Tabela 25) e são sintetizados na Tabela 32.

Tabela 32: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo B

Tipo de Eficiência	p-value	Resultado	Análise
EE/ET	0,00%	Rejeita H ₀	Há diferença significativa
EE/EA	0,03%	Rejeita H ₀	Há diferença significativa
EE/EFA	0,00%	Rejeita H ₀	Há diferença significativa
EE/EFF	2,19%	Rejeita H ₀	Há diferença significativa
EE/RZ	2,19%	Rejeita H ₀	Há diferença significativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 32, percebe-se que segundo o teste de Wilcoxon, rejeita-se a hipótese nula H₀ e aceita-se a hipótese alternativa H₁, *p-value* < 0,05 (5%) para todos os pares de eficiência analisados. Ou seja, existe uma diferença estatisticamente significativa da eficiência econômica (EE) e as demais eficiências calculadas no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%. Nesse sentido, não se identificou no modelo B nenhum par de eficiência que não apresentasse diferença significativa, *p-value* > 0,05 (5%), no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%, que permitiria aceitar a hipótese H₀ de que existe diferença significativa entre as eficiências avaliadas.

Com os resultados apresentados na Tabela 32 observa-se que, para o modelo B, todos pares de eficiência testados apresentam diferenças em relação a medição de eficiência econômica do MB. Na próxima seção, apresenta-se os resultados para o modelo C.

5.1.3 Análise da eficiência do MODELO C (MC)

A análise do comportamento dos seis tipos de eficiência ao longo do tempo objetiva auxiliar a avaliação do modelo C. Dessa forma, repetem-se os mesmos procedimentos realizados para analisar o comportamento das eficiências para o modelo A e B e os resultados são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33: Escores de eficiência do modelo C

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U2M1	jan/17	0,46	0,66	0,70	0,62	0,34	0,34
U2M2	fev/17	0,89	1,00	0,89	0,45	0,38	0,38
U2M3	mar/17	0,44	0,88	0,50	0,40	0,33	0,33
U2M4	abr/17	0,41	0,56	0,73	0,67	0,30	0,30
U2M5	mai/17	1,00	1,00	1,00	0,43	0,37	0,37
U2M6	jun/17	0,68	1,00	0,68	0,66	0,41	0,41
U2M7	jul/17	0,52	0,80	0,65	0,61	0,42	0,42
U2M8	ago/17	0,24	0,48	0,51	0,46	0,30	0,30
U2M9	set/17	0,51	1,00	0,51	1,00	1,00	1,00
U2M10	out/17	0,70	1,00	0,70	0,66	0,61	0,61
U2M11	nov/17	0,49	0,60	0,82	0,88	0,48	0,48
U2M12	dez/17	0,24	1,00	0,24	1,00	0,41	0,41
U2M13	jan/18	0,22	0,66	0,33	0,86	0,56	0,56
U2M14	fev/18	0,16	0,26	0,61	0,40	0,30	0,30
U2M15	mar/18	0,28	0,48	0,58	0,67	0,57	0,57
U2M16	abr/18	0,15	0,18	0,83	0,42	0,37	0,37
U2M17	mai/18	0,23	0,77	0,29	1,00	0,56	0,56
U2M18	jun/18	0,21	0,28	0,73	0,76	0,49	0,49
U2M19	jul/18	0,18	0,25	0,74	0,62	0,51	0,51
U2M20	ago/18	0,19	0,21	0,89	0,67	0,51	0,51
U2M21	set/18	0,22	0,28	0,78	0,79	0,65	0,65
U2M22	out/18	0,20	0,24	0,82	0,68	0,49	0,49
U2M23	nov/18	0,12	0,15	0,79	0,38	0,30	0,30
U2M24	dez/18	0,17	0,21	0,82	0,64	0,45	0,45
U2M25	jan/19	0,18	0,31	0,57	0,83	0,56	0,56
U2M26	fev/19	0,19	0,22	0,87	0,82	0,63	0,63

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U2M27	mar/19	0,18	0,37	0,49	0,83	0,48	0,48
U2M28	abr/19	0,13	0,24	0,55	0,53	0,45	0,45
U2M29	mai/19	0,12	0,25	0,49	0,40	0,32	0,32
U2M30	jun/19	0,16	0,19	0,84	0,75	0,60	0,60

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 33 estão relacionados, em ordem cronológica, os 30 meses que representam o período de análise de dois anos e meio consecutivos (janeiro de 2017 a junho de 2019) totalizando 30 DMUs. Os resultados estão sumarizados e apresentados na Tabela 34. Nesse sentido, apresentam-se os escores os seis tipos de eficiências referentes aos cálculos da eficiência econômica (EE), eficiência técnica (ET), eficiência alocativa (EA), eficiência financeira aberta (EFA), eficiência financeira fechada (EFF) efetuados na Análise Envoltória de Dados (DEA) e a razão (RZ).

Tabela 34: Resumo das eficiências do modelo C

MODELO C	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
EE	30	0,33	0,23	0,22	0,09	0,12	1,00	0,04
ET	30	0,52	0,32	0,42	0,31	0,15	1,00	0,06
EA	30	0,67	0,19	0,70	0,20	0,24	1,00	0,03
EFA	30	0,66	0,19	0,66	0,24	0,38	1,00	0,03
EFF	30	0,47	0,15	0,46	0,14	0,30	1,00	0,03
RZ	30	0,47	0,15	0,46	0,14	0,30	1,00	0,03

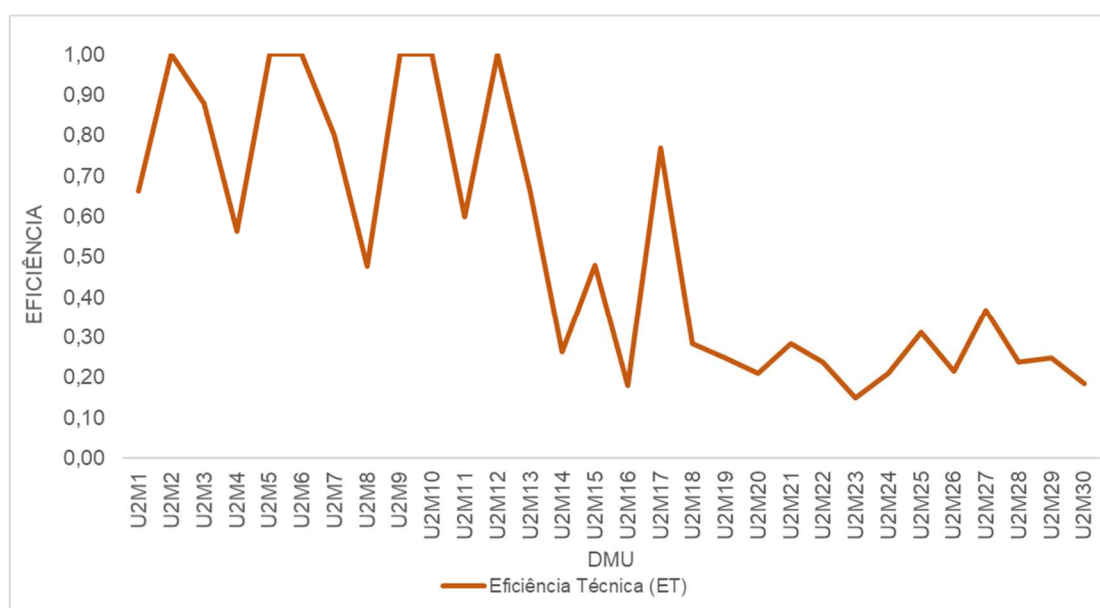
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar a partir da Tabela 34 que a eficiência alocativa (EA) apresentou o melhor desempenho médio (0,67) com desvio padrão (0,19). A eficiência financeira aberta (EFA) teve o segundo melhor desempenho com (0,67) e um desvio padrão (SD) de 0,19. Ambos índices de eficiência tiveram erros padrão (SE) de 0,03. A eficiência técnica (ET) apresentou um resultado de 0,52 com um desvio padrão (SD) de 0,32. Ao analisar a Tabela 33 e o Gráfico 12, essa elevada variabilidade da ET pode ser observada a partir da DMU U2M1 até a U2M12, que corresponde ao ano de 2017 e da DMU U2M13 até a U2M18, o primeiro semestre de 2018.

O grupo de especialistas da empresa (Quadro 12) relata que no período da DMU U2M18 ocorreu um plano de readequação da capacidade produtiva da unidade. O plano teve por objetivo, além do ajuste de capacidade, definir o posicionamento

estratégico em relação à carteira de clientes. Com a redução de capacidade e a mudança na carteira e mix de clientes, pode-se observar na Tabela 33 que a partir da DMU U2M19 (jul/2018) a eficiência técnica (ET) apresenta um índice de 0,17 de eficiência e um desvio padrão de 0,03.

Gráfico 12: Eficiência técnica (ET) modelo C



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O Gráfico 13 objetiva facilitar a apresentação dos resultados apresentados na Tabela 33. Procurou-se ilustrar a evolução das eficiências ao longo do período avaliado de maneira que possibilite visualizar a tendência da evolução dos escores ao longo da série temporal. O Gráfico 13 apresenta as 30 DMUs em análise do modelo C que é composto pela unidade produtiva de calçados femininos sediada no estado do Rio Grande do Sul (U2).

Observa-se no Gráfico 13 que a eficiência econômica (EE) apresenta um comportamento similar ao comportamento da ET. A Tabela 35 apresenta os índices de correlação entre as eficiências calculadas e nela pode se observar que a EE e a ET têm uma forte e positiva correlação (0,81). Os especialistas da empresa apontam que com as ações tomadas para adequação da carteira de clientes e mix de produtos, ocorreram ações de racionalização na utilização dos *inputs* e seus custos envolvidos.

Na Tabela 34 e na Tabela 35 pode se observar que os resultados de eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) apresentam os mesmos valores e o menor desempenho (0,47) e o maior desvio padrão (0,15) entre as eficiências calculadas e,

como esperado, estão correlacionadas entre si (1,00) conforme apresentado na Tabela 35.

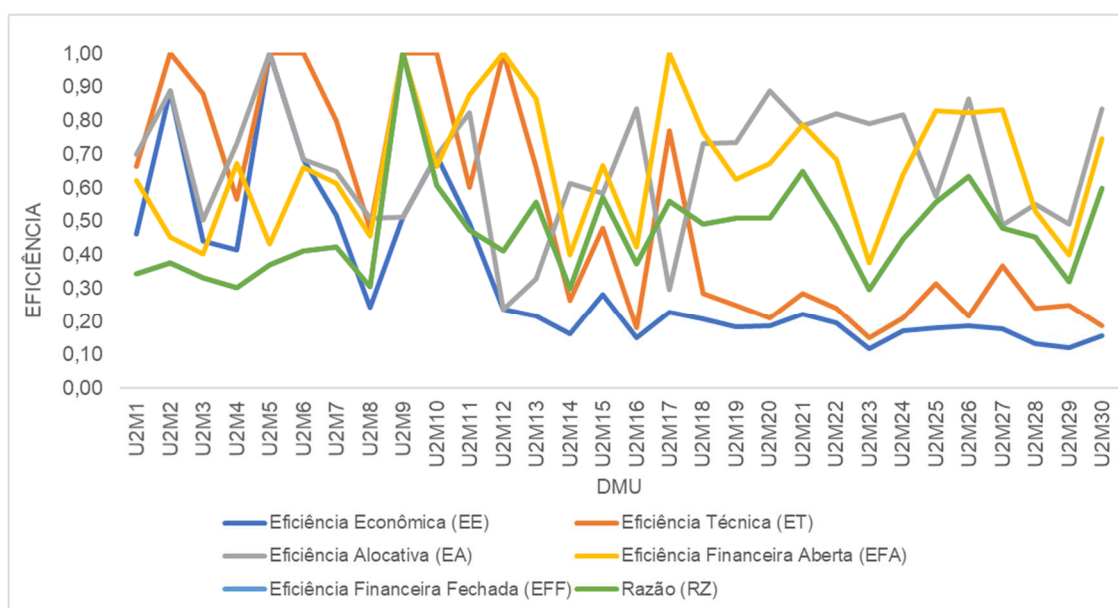
Tabela 35: Escores de correlação para o modelo C

MODELO C	EE	ET	EA	EFA	EFF	RZ
EE	1,00					
ET	0,82	1,00				
EA	0,41	-0,02	1,00			
EFA	0,10	0,31	0,05	1,00		
EFF	0,27	0,28	0,27	0,77	1,00	
RZ	0,27	0,28	0,27	0,77	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 35 se observa que a eficiência alocativa (AE) apresenta uma correlação positiva de 0,41 com a EE e de -0,02 com a ET. Apesar de as eficiências EFA e EA apresentarem cerca do mesmo nível médio de eficiência (0,67 e 0,66 respectivamente), entretanto, a correlação entre as duas eficiências é fraca e positiva (0,05). Isso quer dizer que, no caso da EFA, os gestores ao melhorarem apenas os preços das variáveis não quer dizer uma melhor alocação dos recursos. Uma melhor alocação dos recursos, sem ajuste dos volumes dessas variáveis não representa uma melhor eficiência financeira.

Gráfico 13: Evolução das eficiências do modelo C



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As DMUs consideradas eficientes na DEA servem de referência (*benchmarking* interno) para as ineficientes e possibilitam comparar e avaliar a proximidade em relação a DMU referência (*benchmarking*), ou seja, se a DMU em análise está na fronteira eficiente. Ao analisar a Tabela 33 e o Gráfico 13, observa-se que para a EE o melhor desempenho ocorreu na DMU U2M5 (mai/2017).

Os especialistas da empresa relatam que o resultado de 1,00 de eficiência EE no mês de maio de 2017 pode ser explicado pelo mix de produtos produzidos e faturados no período da coleção inverno internacional. Os especialistas apontam ainda que a unidade U2 absorve o excedente de demanda da unidade U1, e que no período analisado ocorreu a produção de um pacote de pedidos composto por botas, que em relação aos demais tipos de calçados tem um maior valor agregado.

Os menores desempenhos de eficiência econômica (EE) estão relacionados com as DMUS U2M8 (ago/2017), U2M23 (nov/2018), U2M28 (abr/19), e U2M29 (mai/2019) e podem ser visualizados no Gráfico 13 e no Anexo E. Conforme os especialistas da empresa, os períodos coincidem com mudanças de coleção e mix de produtos por parte dos clientes. Destaca-se que os períodos de reduzida ineficiência econômica coincidem com os períodos de ineficiência técnica (ET) e financeira aberta (EFA).

Tabela 36: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo C

MODELO C	EE	ET	AE	EFA	EFF	RZ	VOL	PM	RS	CST
EE	1,00									
ET	0,81	1,00								
AE	0,29	-0,27	1,00							
EFA	-0,13	0,18	-0,37	1,00						
EFF	-0,03	0,09	-0,08	0,70	1,00					
RZ	-0,03	0,09	-0,08	0,70	1,00	1,00				
VOL	0,99	0,77	0,35	-0,15	-0,05	-0,05	1,00			
PM	-0,83	-0,75	-0,12	0,30	0,40	0,40	-0,83	1,00		
RS	0,24	0,19	0,20	-0,03	0,10	0,10	0,25	-0,28	1,00	
CST	-0,88	-0,83	-0,14	-0,15	-0,13	-0,13	-0,88	0,81	-0,34	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Tabela 26 apresenta os escores de correlação dos seis tipos de eficiências com o volume (VOL), preço médio (PM), resultado (RS) e custo do produto (CST) para o modelo C. Destaca-se a correlação positiva perfeita entre o VOL e a EE (0,99) e a forte e positiva correlação com a ET de 0,77. Os especialistas relatam que ao melhorar a eficiência da unidade os clientes se sentem seguros para realizar novos pedidos.

Outro aspecto é em relação a ET que apresenta uma forte e positiva correlação de 0,81 com EE. Tal fato corrobora com o relato dos especialistas de que o volume cresce com uma melhor eficiência. Entretanto, com o aumento de volume e eficiência (EE e ET) há uma correlação forte e negativa com o PM (-0,83 e -0,75).

Existe uma tendência de queda nos preços de venda dos calçados. Outro aspecto observado na Tabela 36 é a correlação forte e negativa do CST com a EE e a ET (-0,88 e -0,83). Verifica-se que ao melhorar a eficiência EE e ET há uma redução no custo de produção. Destaca-se que, ainda em relação ao VOL e PM existe uma correlação forte e negativa de -0,83. Os especialistas apontam que esse resultado é coerente, visto que, para a unidade 2, que tem a característica de produção em menores lotes e produtos de maior valor agregado, um maior volume de produção representa modelos com um maior nível de padronização e menor valor agregado.

Nesse sentido o VOL também apresenta uma correlação forte e negativa de -0,88 com o CST. Pode-se verificar ainda que o custo do produto (CST) apresenta uma correlação forte e negativa em relação a EE (-0,88), ou seja, melhorias no preço dos insumos refletem melhorias no índice de eficiência econômica (EE).

Ao analisar a EA, que utiliza os custos dos insumos no modelo a partir do cálculo da EE, observou-se uma correlação forte e positiva com o CST (0,44). Nesse sentido, ao melhorar os custos dos insumos ocorre também uma melhora na alocação dos custos das variáveis. Ainda na Tabela 36, pode-se observar a correlação forte e positiva (0,24) do resultado (RS) com a eficiência econômica (EE). Isso quer dizer que os gestores ao realizarem ações de melhoria na EE, tanto nos volumes quanto nos custos das variáveis pode-se observar também uma melhora no resultado da empresa. A Tabela 37 e o Anexo J apresentam a variação entre períodos do volume dos *inputs* da unidade 2 do MC.

Tabela 37: Resumo da variação do volume dos *inputs* da unidade 2 – modelo C

UNIDADE 2	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
MÍNIMO	0,002	0,000	0,001	0,010	0,007	3,519	0,049	0,016	0,281	0,088
MÁXIMO	0,094	0,076	2,108	1,054	0,209	135,684	1,759	1,550	22,626	10,676
MÉDIA	0,018	0,014	0,673	0,224	0,071	45,379	0,469	0,452	6,514	3,540
DESV. PAD.	0,022	0,019	0,614	0,272	0,047	36,863	0,421	0,418	5,622	2,660

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar em relação ao volume de mão-de-obra direta e indireta existe uma reduzida variação e que em relação aos materiais (couro, forro, sola e tecido), onde existe a dependência do mix de produtos e coleção de cada um dos clientes essa é mais representativa com maiores desvios-padrões. Em relação aos preços das variáveis a Tabela 38 e o Anexo J apresentam o resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 2 do MC.

Tabela 38: Resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 2 – modelo C

UNIDADE 2	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
MÍNIMO	0,002	0,004	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MÁXIMO	0,095	0,380	0,008	0,027	1,524	0,000	0,012	0,003	0,069	0,005
MÉDIA	0,027	0,104	0,001	0,008	0,275	0,000	0,002	0,001	0,019	0,001
DESV. PAD.	0,024	0,090	0,002	0,007	0,339	0,000	0,002	0,001	0,019	0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar que para a unidade C os preços dos *inputs* apresentam reduzida variação média e um reduzido desvio padrão. Nesse sentido, os resultados apontam para a unidade C que existe uma elevada influência do volume de produção em relação ao preço médio. Ao analisar a Tabela 36, observa-se que existem correlações fortes e positiva com EE e ET (0,99 e 0,77) com o VOL. Isso significa dizer que, o cliente está disponível a elevar o volume de pedidos a partir de uma melhor eficiência econômica e técnica. A seguir serão apresentadas as análises estatísticas para o modelo C.

5.1.3.1 Análises estatísticas do modelo C

A aplicação do teste de Shapiro-Wilk tem o propósito de verificar a normalidade dos dados e é sintetizado na Tabela 39.

Tabela 39: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo C

Tipo de Eficiência	Shapiro-Wilk (Sign.)	Resultado	Análise
EE	0,004%	Rejeita H ₀	Os dados não são normais
ET	0,046%	Rejeita H ₀	Os dados não são normais

Tipo de Eficiência	Shapiro-Wilk (Sign.)	Resultado	Análise
EA	25,513%	Aceita H_0	Os dados são normais
EFA	9,446%	Aceita H_0	Os dados são normais
EFF	0,203%	Aceita H_0	Os dados são normais
RZ	0,203%	Aceita H_0	Os dados são normais

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 39, percebe-se que segundo o teste de Shapiro-Wilk, no que se refere aos resultados da eficiência alocativa (EA), eficiência financeira aberta (EFA), eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) no período analisado, os dados são normais (homogêneos) com um nível de significância maior que 0,05. Entretanto, para a eficiência econômica (EE) e a eficiência técnica (ET), os dados diferem de uma distribuição normal, ou seja, os dados não são normais (heterogêneos) com um nível de significância menor que 0,05. Deste modo, não se pode aceitar a hipótese de que os dados constituem uma distribuição normal. Quanto ao teste de Levene, o resultado obtivo (*Sign.* = 0,00124) também permite rejeitar a hipótese de que os dados são homogêneos, portanto, se rejeita a hipótese de igualdade das variâncias.

Logo, para testar as hipóteses de pesquisa, em relação às diferenças entre as médias da eficiência econômica (EE) com as demais, o teste não paramétrico de Wilcoxon foi realizado. Os dados utilizados para avaliação do teste Wilcoxon foram os escores calculados para cada tipo de eficiência para o modelo C (Tabela 33) e são sintetizados na Tabela 40.

Tabela 40: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo C

Tipo de Eficiência	p-value	Resultado	Análise
EE/ET	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EA	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EFA	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EFF	0,47%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/RZ	0,47%	Rejeita H_0	Há diferença significativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 40, percebe-se que segundo o teste de Wilcoxon, rejeita-se a hipótese nula H_0 e aceita-se a hipótese alternativa H_1 , *p-value* < 0,05 (5%) para todos os pares de eficiência analisados. Ou seja, existe uma diferença estatisticamente significativa da eficiência econômica (EE) e as demais

eficiências calculadas no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%. Nesse sentido, não se identificou no modelo C nenhum par de eficiência que não apresentasse diferença significativa, $p\text{-value} > 0,05$ (5%), no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%, que permitiria aceitar a hipótese H_0 de que existe diferença significativa entre as eficiências avaliadas.

Com os resultados apresentados na Tabela 40 observa-se que, para o modelo C, todos pares de eficiência testados apresentam diferenças em relação a medição de eficiência econômica. Nesse sentido, estatisticamente qualquer uma das medidas poderia representar a eficiência econômica do modelo. Na próxima seção, apresenta-se os resultados para o modelo D.

5.1.4 Análise da eficiência do MODELO D (MD)

A análise do comportamento dos seis tipos de eficiência ao longo do tempo objetiva auxiliar a avaliação do modelo D. Os resultados são apresentados na Tabela 41. Dessa forma, repetem-se os mesmos procedimentos realizados para analisar o comportamento das eficiências para o modelo A, B e C.

Tabela 41: Escores de eficiência do modelo D

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U3M1	jan/17	0,99	1,00	0,99	1,00	0,91	0,91
U3M2	fev/17	0,75	1,00	0,75	1,00	0,69	0,69
U3M3	mar/17	0,88	1,00	0,88	1,00	0,78	0,78
U3M4	abr/17	0,77	0,96	0,81	0,94	0,69	0,69
U3M5	mai/17	0,87	1,00	0,87	1,00	0,77	0,77
U3M6	jun/17	0,85	0,89	0,95	0,90	0,76	0,76
U3M7	jul/17	0,94	1,00	0,94	1,00	0,85	0,85
U3M8	ago/17	0,72	0,75	0,96	0,87	0,70	0,70
U3M9	set/17	0,90	1,00	0,90	1,00	0,76	0,76
U3M10	out/17	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
U3M11	nov/17	0,94	0,99	0,96	1,00	0,84	0,84
U3M12	dez/17	0,76	0,91	0,83	1,00	0,71	0,71
U3M13	jan/18	0,57	0,72	0,80	0,78	0,57	0,57
U3M14	fev/18	0,63	0,78	0,80	0,92	0,71	0,71
U3M15	mar/18	0,63	0,80	0,79	0,88	0,61	0,61
U3M16	abr/18	0,69	0,81	0,86	0,82	0,67	0,67
U3M17	mai/18	0,60	0,73	0,82	0,76	0,65	0,65

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U3M18	jun/18	0,58	0,73	0,79	0,78	0,74	0,74
U3M19	jul/18	0,67	0,97	0,68	1,00	0,73	0,73
U3M20	ago/18	0,70	1,00	0,70	1,00	0,88	0,88
U3M21	set/18	0,71	1,00	0,71	1,00	0,98	0,98
U3M22	out/18	0,72	1,00	0,72	0,98	0,90	0,90
U3M23	nov/18	0,68	1,00	0,68	1,00	0,84	0,84
U3M24	dez/18	0,69	0,96	0,72	0,99	0,90	0,90
U3M25	jan/19	0,70	0,93	0,76	1,00	0,95	0,95
U3M26	fev/19	0,79	1,00	0,79	1,00	0,99	0,99
U3M27	mar/19	0,63	0,93	0,69	1,00	0,81	0,81
U3M28	abr/19	0,71	1,00	0,71	1,00	0,94	0,94
U3M29	mai/19	0,74	1,00	0,74	1,00	0,92	0,92
U3M30	jun/19	0,82	1,00	0,82	1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 41 estão relacionados, em ordem cronológica, os 30 meses que representam o período de análise de dois anos e meio consecutivos (janeiro de 2017 a junho de 2019) totalizando 30 DMUs. Os resultados são sumarizados na Tabela 42. Nesse sentido, apresentam-se os escores os seis tipos de eficiências referentes aos cálculos da eficiência econômica (EE), eficiência técnica (ET), eficiência alocativa (EA), eficiência financeira aberta (EFA), eficiência financeira fechada (EFF) efetuados na Análise Envoltória de Dados (DEA) e a razão (RZ).

Tabela 42: Resumo das eficiências do modelo D

MODELO D	Número de DMUs	Média	Desvio Padrão (SD)	Mediana	Desvio Padrão da Mediana (MAD)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Erro Padrão (SE)
EE	30	0,75	0,12	0,72	0,11	0,57	1,00	0,02
ET	30	0,93	0,10	0,99	0,01	0,72	1,00	0,02
EA	30	0,81	0,10	0,80	0,11	0,68	1,00	0,02
EFA	30	0,95	0,08	1,00	0,00	0,76	1,00	0,01
EFF	30	0,80	0,12	0,79	0,13	0,57	1,00	0,02
RZ	30	0,80	0,12	0,79	0,13	0,57	1,00	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode se observar a partir da Tabela 42 que a eficiência financeira aberta (EFA) e a técnica (ET) tiveram em média os melhores desempenhos (0,95 e 0,93 respectivamente) em relação as demais eficiências medidas. Verifica-se também que ambas eficiências apresentam os mesmos níveis de desvios padrão (SD) (0,08 e 0,10

respectivamente) e erro padrão (SE) (0,01 e 0,02 respectivamente). Nesse sentido, para o MD, a agregação dos preços médios das variáveis no modelo apresentou um melhor resultado no cálculo de eficiência. Ambas eficiências foram calculadas a partir do modelo tradicional CRS orientado ao *input*. As eficiências ET e EFA apresentam uma forte e positiva correlação de 0,97. Os índices de correlação são apresentados na Tabela 25.

Na Tabela 41 e na Tabela 42 pode se observar que os resultados de eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) apresentam os mesmos tendo o desempenho de 0,80 e com um desvio padrão de 0,12 entre as eficiências calculadas e, como esperado, estão correlacionadas entre si (1,00) conforme apresentado na Tabela 43.

Tabela 43: Escores de correlação para o modelo D

MODELO D	EE	ET	EA	EFA	EFF	RZ
EE	1,00					
ET	0,82	1,00				
EA	0,87	0,65	1,00			
EFA	0,79	0,97	0,69	1,00		
EFF	0,70	0,87	0,54	0,85	1,00	
RZ	0,70	0,87	0,54	0,85	1,00	1,00

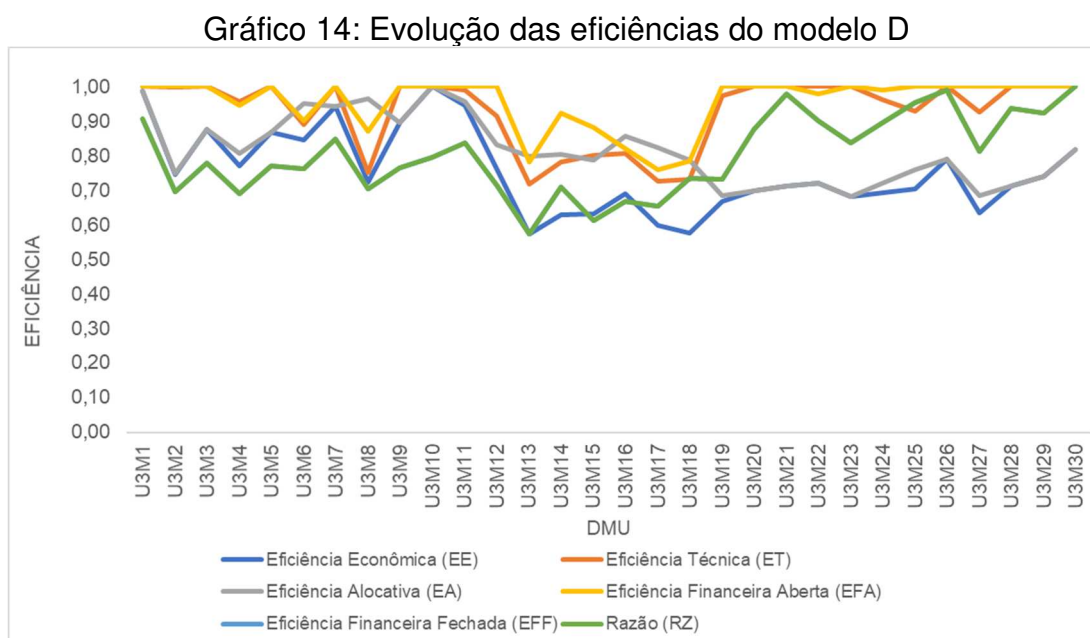
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A eficiência alocativa (AE) apresentou um desempenho melhor que a eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) com uma média de 0,81 e um desvio padrão de 0,10. Observa-se também que a EA tem uma fraca e positiva correlação (0,54) com as eficiências EFF e RZ. Em relação a eficiência financeira aberta (EFA) apresentou um resultado a menor, com 0,14 pontos percentuais de diferença. Ao analisar a Tabela 25 pode-se observar que a EA tem uma fraca e positiva correlação (0,65) com a ET e uma forte e positiva correlação (0,87) com a EE.

A EE apresenta um dos menores índices medidos de eficiência com 0,73 e um desvio padrão de 0,12. Ao observar a Tabela 25 verifica-se que existe uma forte e positiva correlação com a eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) (0,70). Em relação a eficiência técnica (ET) existe uma fraca e positiva correlação (0,65), o que indica, que o enfoque em melhorias em tecnologias, operações e processos, sem uma avaliação dos custos envolvidos, como o dos insumos, não produzem efeitos positivos na eficiência econômica (EE) do modelo D.

Nesse sentido, a partir da Tabela 41 e da Tabela 42 observa-se que ao avaliar o MD a partir apenas da perspectiva da eficiência financeira aberta (EFA) e da eficiência técnica (ET) pode limitar o percentual de melhoria (0,05 e 0,07 pontos percentuais respectivamente), ou seja, existe um curto espaço de ação para os gestores incrementarem os níveis de eficiência em relação ao que pode ser feito no processo fabril. Entretanto, ao considerar os preços médios das variáveis, tanto a EA quanto a EE, apresentam um espaço de ação maior (0,19 e 0,25 pontos percentuais respectivamente). Ou seja, outras intervenções podem ser consideradas e que não estão relacionadas com a tecnologia fabril, como por exemplo, negociações de preços e lotes com fornecedores, trocas de insumos, aumento no preço de venda dos produtos, ajustes salariais e entre outros.

O Gráfico 14 objetiva facilitar a apresentação dos resultados apresentados no Anexo F. Procurou-se ilustrar a evolução das eficiências ao longo do período avaliado de maneira que possibilite visualizar a tendência da evolução dos escores ao longo da série temporal. O Gráfico 14 apresenta as 30 DMUs em análise do modelo D que é composto pela unidade produtiva de calçados femininos e esportivos sediada no estado do Ceará (U3).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar o Gráfico 14 é possível observar que tanto a eficiência financeira aberta (EFA) quanto a eficiência técnica (ET) apresentam os melhores resultados de eficiência em comparação com as demais, tendo seus pontos mínimos nas DMUs

referentes U3M19 (jul/18), U3M20 (ago/18), U3M21 (set/18), U3M23 (nov/18), U3M27 (mar/19) e U3M28 (abr/19) referente a EFA e U3M8 (ago/17), U3M13 (jan/18), U3M14 (fev/18), U3M17 (mai/18) e U3M18 (jun/18). O grupo de especialistas da empresa (Quadro 12) relata que devido à característica da unidade (U3) em produzir calçados femininos e esportivos, espera-se para o modelo D que as trocas de coleções e *mix* de produtos ocorreram nos períodos de abril/outubro e para o esportivo e junho/agosto para o feminino. Outra característica da unidade relatada pelos especialistas é o atendimento da demanda nacional com calçados femininos e esportivos, e da demanda internacional com os calçados femininos do tipo exportação.

Observa-se a partir do Gráfico 14 e da Tabela 23, que a partir da DMU U3M13 até a U3M18 (janeiro de 2018 a junho de 2018) ocorre uma redução nos níveis de eficiência. A partir da DMU U3M19 observa-se que os níveis de eficiência apresentam uma tendência de crescimento positivo. O grupo de especialistas da empresa relata que no período de janeiro de 2018 a junho de 2018 ocorreram mudanças estratégicas do posicionamento da carteira de clientes da unidade, o que representou incremento de clientes do tipo esportivo e um decréscimo do tipo feminino. Uma característica da produção de calçados esportivos é o elevado volume e padronização dos modelos, o que permite uma melhor eficiência técnica (ET), entretanto observa-se pelo Gráfico 14 e na Tabela 41 que a eficiência alocativa (EA) e a eficiência econômica (EE) apresentam desempenhos abaixo da ET.

As DMUs consideradas eficientes na DEA servem de referência (*benchmarking* interno) para as ineficientes e possibilitam comparar e avaliar a proximidade em relação a DMU referência (*benchmarking*), ou seja, se a DMU em análise está na fronteira eficiente. Ao analisar a Tabela 41 e o Gráfico 14, observa-se que para a EE o melhor desempenho ocorreu na DMU U3M10 (out/2017). Os especialistas da empresa relatam que o resultado de 1,00 de eficiência no mês de outubro de 2017 pode ser explicado pelo mix de produtos produzidos e faturados no período da coleção inverno internacional, com um maior valor agregado e pelo final da coleção de verão nacional dos calçados esportivos.

Os menores desempenhos de eficiência econômica (EE) estão relacionados com as DMUS U3M13 (jan/18) (0,57), U3M14 (fev/18) (0,63), U3M15 (mar/18) (0,63), U3M17 (mai/18) (0,60), U3M18 (jun/18) (0,58) e U3M27 (mar/19) (0,63). Conforme os especialistas da empresa, os períodos coincidem o período de férias da unidade dos

anos de 2017 e 2018. Destaca-se que os períodos de reduzida ineficiência econômica coincidem com os períodos de ineficiência técnica e financeira aberta.

A Tabela 44 apresenta os escores de correlação dos seis tipos de eficiências com o volume (VOL), preço médio (PM), resultado (RS) e custo do produto (CST) para o modelo D.

Destaca-se a correlação forte e positiva entre o VOL e a ET (0,50) e fraca e negativa correlação com a EE de -0,07. Observa-se que ao melhorar os índices de eficiência técnica ocorre uma melhora de volume. Os especialistas apontam que é uma característica da unidade elevados volumes de produção com grandes lotes e que melhores índices de eficiência correspondem a uma quantidade maior de pedidos por partes dos clientes. Outro aspecto é em relação a ET que apresenta um forte e positiva correlação de 0,62 com EE. Tal fato corrobora com o relato dos especialistas de que o volume cresce com uma melhor eficiência. Entretanto, com o aumento de volume e eficiência (EE e ET) há uma correlação forte e negativa com o PM (-0,64 e -0,58).

Tabela 44: Escores de correlação das eficiências e faturamento para o modelo D

MODELO D	EE	ET	AE	EFA	EFF	RZ	VOL	PM	RS	CST
EE	1,00									
ET	0,62	1,00								
AE	0,72	-0,10	1,00							
EFA	0,55	0,93	-0,12	1,00						
EFF	0,32	0,69	-0,20	0,66	1,00					
RZ	0,32	0,69	-0,20	0,66	1,00	1,00				
VOL	-0,07	0,50	-0,53	0,49	0,70	0,70	1,00			
PM	-0,64	-0,58	-0,31	-0,48	-0,18	-0,18	-0,07	1,00		
RS	-0,32	0,10	-0,50	0,24	0,30	0,30	0,52	0,33	1,00	
CST	-0,57	-0,85	0,01	-0,80	-0,90	-0,90	-0,61	0,57	-0,13	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Existe uma tendência de queda nos preços de venda dos calçados. Outro aspecto observado na Tabela 44 é a correlação forte e negativa do CST com a EE e a ET (-0,57 e -0,85). Verifica-se que ao melhorar a eficiência EE e ET há uma redução no custo de produção. Destaca-se que, ainda em relação ao VOL e PM existe uma correlação fraca e negativa de -0,07.

Nesse sentido o VOL também apresenta uma correlação forte e negativa de -0,61 com o CST. Pode-se verificar ainda que o custo do produto (CST) apresenta uma correlação forte e negativa em relação a EE (-0,57), ou seja, melhorias no preço dos

insumos refletem melhorias no índice de eficiência econômica (EE). Destaca-se que há uma correlação forte e positiva entre o PM e o CST de 0,57. Este resultado aponta para o custo dos insumos utilizados na unidade. Os especialistas relatam que o resultado é coerente, visto que a unidade 3 tem o seu maior volume de produção em calçados femininos de couro, de maior valor agregado.

Na Tabela 44 verifica-se que há uma fraca e positiva correlação entre EE e ET (0,62) e a forte e positiva correlação entre EE e EA (0,72). Nesse sentido, pode-se verificar que o custo do produto (CST) apresenta uma correlação forte e negativa em relação a EE (-0,57), ou seja, melhorias no preço dos insumos refletem melhorias no índice de eficiência econômica (EE). Ao analisar a ET observa-se uma correlação forte e negativa (-0,85) com o CST.

Ao analisar a EA, que utiliza os custos dos insumos no modelo a partir do cálculo da EE, observou-se uma correlação fraca e positiva com o CST (0,01). Nesse sentido, não se observou que ações para realocar os custos das variáveis tenha impacto no custo dos produtos. Ainda na Tabela 44, pode-se observar a correlação forte e negativa (-0,50) do RS com a EA. Verifica-se também que o volume apresenta uma correlação forte e positiva com o resultado de 0,50. A Tabela 45 e o Anexo L apresentam a variação entre períodos do volume dos *inputs* da unidade 3 do MD.

Tabela 45: Resumo da variação do volume dos *inputs* da unidade 3 – modelo D

UNIDADE 3	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
MÍNIMO	0,002	0,000	0,003	0,000	0,002	0,513	0,214	0,210	0,373	0,202
MÁXIMO	0,092	0,085	1,990	3,251	0,647	278,797	7,921	20,380	105,539	40,839
MÉDIA	0,021	0,015	0,380	0,552	0,165	67,941	2,928	7,691	34,101	10,697
DESV. PAD.	0,027	0,020	0,485	0,749	0,153	70,747	2,115	5,556	28,952	11,775

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar em relação ao volume de mão-de-obra direta e indireta existe uma reduzida variação e que em relação aos materiais (couro, forro, sola e tecido), onde existe a dependência do mix de produtos e coleção de cada um dos clientes essa é mais representativa com maiores desvios-padrões. Em relação aos preços das variáveis a Tabela 46 e o Anexo L apresentam o resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 3 do MD.

Tabela 46 : Resumo da variação do preço dos *inputs* da unidade 3 – modelo D

UNIDADE 3	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
MÍNIMO	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MÁXIMO	0,059	0,121	0,005	0,013	0,258	0,001	0,011	0,003	0,038	0,004
MÉDIA	0,013	0,029	0,001	0,003	0,059	0,000	0,004	0,001	0,005	0,002
DESV. PAD.	0,014	0,025	0,001	0,003	0,069	0,000	0,003	0,001	0,007	0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar que para a unidade D os preços dos *inputs* apresentam reduzida variação média e um reduzido desvio padrão. Nesse sentido, os resultados apontam para a unidade C que existe uma elevada influência do volume de produção em relação ao preço médio. Ao analisar a Tabela 44, observa-se que existe correlação forte e positiva da ET (0,50) com o VOL. Isso significa dizer que, o cliente está disponível a elevar o volume de pedidos a partir de uma melhor eficiência econômica e técnica. A seguir serão apresentadas as análises estatísticas para o modelo D.

5.1.4.1 Análises estatísticas do modelo D

A aplicação do teste de Shapiro-Wilk tem o propósito de verificar a normalidade dos dados e é sintetizado na Tabela 47.

Tabela 47: Teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk modelo D

Tipo de Eficiência	Shapiro-Wilk (Sign.)	Resultado	Análise
EE	1,057%	Aceita H_0	Os dados são normais
ET	0,000%	Rejeita H_0	Os dados não são normais
EA	17,267%	Aceita H_0	Os dados são normais
EFA	0,000%	Rejeita H_0	Os dados não são normais
EFF	7,968%	Aceita H_0	Os dados são normais
RZ	7,968%	Aceita H_0	Os dados são normais

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 47, percebe-se que segundo o teste de Shapiro-Wilk, no que se refere aos resultados da eficiência econômica (EE), eficiência alocativa (EA), eficiência financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) no período

analisado, os dados são normais (homogêneos) com um nível de significância maior que 0,05. Entretanto, para a eficiência técnica (ET) e a eficiência financeira aberta (EFA), os dados diferem de uma distribuição normal, ou seja, os dados não são normais (heterogêneos) com um nível de significância menor que 0,05. Deste modo, não se pode aceitar a hipótese de que os dados constituem uma distribuição normal. Quanto ao teste de Levene, o resultado obtivo (*Sign.* = 0,3801) também permite rejeitar a hipótese de que os dados são homogêneos, portanto, se rejeita a hipótese de igualdade das variâncias.

Logo, para testar as hipóteses de pesquisa, em relação às diferenças entre as médias da eficiência econômica (EE) com as demais, o teste não paramétrico de Wilcoxon foi realizado. Os dados utilizados para avaliação do teste Wilcoxon foram os escores calculados para cada tipo de eficiência para o modelo D (Tabela 41) e são sintetizados na Tabela 48.

Tabela 48: Teste Wilcoxon para as eficiências do modelo D

Tipo de Eficiência	p-value	Resultado	Análise
EE/ET	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EA	0,03%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EFA	0,00%	Rejeita H_0	Há diferença significativa
EE/EFF	10,94%	Aceita H_0	Não há diferença significativa
EE/RZ	10,94%	Aceita H_0	Não há diferença significativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os dados da Tabela 28, percebe-se que segundo o teste de Wilcoxon, rejeita-se a hipótese nula H_0 e aceita-se a hipótese alternativa H_1 , *p-value* < 0,05 (5%) para todos os pares de eficiência EE/ET, EE/EA e EE/EFA. Ou seja, existe uma diferença estatisticamente significativa da eficiência econômica (EE) com as eficiências técnica, alocativa e financeira aberta calculadas no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%. Nesse sentido, não se identificou no modelo D para as eficiências EE/EFF e EE/RZ diferença significativa, *p-value* > 0,05 (5%), no período avaliado considerando um nível de confiança de 95%, que permitiria aceitar a hipótese H_0 de que existe diferença significativa entre as eficiências avaliadas.

Com os resultados apresentados na Tabela 48 observa-se que não há diferença significativa entre as eficiências econômica e eficiência financeira fechada e a eficiência econômica e a razão, ou seja, ambas medidas podem ser utilizadas para

avaliar a eficiência econômica geral do MD. Entretanto, a EE medida pelo modelo DEA apresenta vantagens em relação as demais pela possibilidade de decomposição das eficiências em técnica e alocativa. Outro aspecto é em relação à agregação dos dados da eficiência financeira fechada e a razão, que não permite a identificação das relações entre volume e preço médio. Na próxima seção, apresenta-se a análise comparativa das eficiências por tipo de negócio e planta produtiva

5.2 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS POR TIPO DE NEGÓCIO

Para melhorar a compreensão das avaliações efetuadas dos modelos A, B, C e D, realizou-se uma análise comparativa entre os resultados obtidos quanto seis tipos de eficiências calculadas para os quatro modelos. Nesse sentido, a Tabela 49 resume os índices de eficiência das Tabelas 15, 25, 33 e 41 e nela pode-se observar os escores médios para cada um dos modelos.

Tabela 49: Análise comparativa dos modelos avaliados

Tipo de Eficiência	MODELO A	MODELO B	MODELO C	MODELO D
EE	0,62	0,63	0,33	0,75
ET	0,92	0,92	0,52	0,93
EA	0,68	0,69	0,67	0,81
EFA	0,92	0,94	0,66	0,95
EFF	0,60	0,59	0,47	0,80
RZ	0,60	0,59	0,47	0,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar a Tabela 49 pode-se observar que em relação a eficiência econômica (EE) o modelo D (MD) apresentou o melhor índice de eficiência com 0,75, seguido pelo modelo B (MB) com 0,63. Para a eficiência técnica (ET) o MD apresentou o melhor resultado de 0,93, seguido dos modelos A (MA) e B (MB) com 0,92. Em relação a eficiência alocativa (EA) o modelo que apresentou o melhor resultado foi o MD com 0,81. Para a eficiência financeira aberta (EFA) o melhor resultado foi identificado no modelo MD com 0,95. Para as eficiências financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) o modelo MD foi identificado com o melhor resultado de eficiência apresentando 0,80.

Observa-se a partir da Tabela 49 que o MD apresenta os melhores resultados de eficiência para todos os tipos de eficiências entre os modelos. O grupo de

especialistas da empresa (Quadro 12) relata que o resultado pode ter relação com os tipos de calçados produzidos pela unidade U3, no caso feminino e esportivo. Os especialistas destacam também que a produção dos calçados ocorre em uma reduzida quantidade de modelos e uma elevada quantidade de pares. Além disso, principalmente para o calçado feminino, a matéria-prima tem um elevado valor agregado, por se tratar majoritariamente de couro.

Percebe-se ainda a partir da Tabela 49 que o MC apresenta os piores resultados de eficiência para todos os tipos de eficiências entre os modelos. Destaca-se a eficiência econômica (EE) que apresenta um índice de 0,33. O grupo de especialistas da empresa (Quadro 12) relata que o resultado tem relação direta com a quantidade de clientes que a unidade U2 atende, as quantidades de pares produzidos mensalmente e o mix de produtos que são caracterizados por uma reduzida quantidade e elevada variedade de modelos.

Com base nos resultados observados na Tabela 49, é possível perceber a diferença entre os seis tipos de eficiências calculadas para cada um dos modelos avaliados. Destaca-se o MD com os melhores resultados e o MC com os piores resultados. A seguir é realizada a análise comparativa por tipo de planta produtiva.

5.3 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS POR TIPO DE PLANTA PRODUTIVA

Para o cálculo da eficiência técnica das cinco unidades produtivas a empresa estudada utiliza uma adaptação do OEE original proposto por Nakajima (1988). O cálculo do indicador é realizado com base na disponibilidade e utilização do tempo de mão-de-obra por setor produtivo. A Tabela 50 apresenta o resumo dos escores de eficiência calculados pela empresa para cada uma das cinco unidades produtivas. A Tabela 50 apresenta os dados ao longo do período analisado (janeiro de 2017 a junho de 2019). Observa-se na Tabela 50 que o modelo A não é representado devido a este modelo ser utilizado apenas para o cálculo das eficiências proposto neste estudo pela associação das unidades U4 e U5 que produzem calçados esportivos que são representadas como modelo E (ME) e modelo F (MF).

Tabela 50: Escores de eficiência calculados pela empresa

Mês/Ano	MODELO B (Unidade feminino Ceará)	MODELO C (Unidade feminino Rio Grande do Sul)	MODELO D (Unidade feminino/esportivo Ceará)	MODELO E (Unidade esportivo Bahia)	MODELO F (Unidade esportivo Ceará)
jan/17	0,71	0,51	0,55	0,65	0,61
fev/17	0,69	0,40	0,51	0,64	0,67
mar/17	0,70	0,37	0,54	0,67	0,66
abr/17	0,68	0,46	0,57	0,59	0,57
mai/17	0,67	0,55	0,56	0,61	0,65
jun/17	0,65	0,55	0,60	0,59	0,61
jul/17	0,66	0,48	0,56	0,58	0,62
ago/17	0,67	0,52	0,55	0,50	0,63
set/17	0,66	0,50	0,58	0,58	0,53
out/17	0,67	0,40	0,55	0,50	0,55
nov/17	0,68	0,35	0,56	0,52	0,56
dez/17	0,72	0,31	0,51	0,43	0,58
jan/18	0,66	0,36	0,56	0,49	0,49
fev/18	0,71	0,42	0,52	0,51	0,60
mar/18	0,74	0,45	0,55	0,57	0,59
abr/18	0,75	0,43	0,50	0,49	0,56
mai/18	0,71	0,43	0,54	0,45	0,52
jun/18	0,71	0,45	0,58	0,46	0,62
jul/18	0,71	0,45	0,57	0,50	0,50
ago/18	0,71	0,49	0,60	0,48	0,65
set/18	0,72	0,45	0,63	0,50	0,66
out/18	0,71	0,43	0,61	0,52	0,64
nov/18	0,73	0,34	0,60	0,53	0,65
dez/18	0,73	0,36	0,61	0,46	0,65
jan/19	0,78	0,40	0,67	0,57	0,70
fev/19	0,77	0,43	0,67	0,61	0,71
mar/19	0,77	0,44	0,66	0,66	0,72
abr/19	0,76	0,45	0,63	0,61	0,64
mai/19	0,75	0,40	0,60	0,62	0,67
jun/19	0,74	0,49	0,62	0,62	0,73

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar a Tabela 50 e a Tabela 51 verifica-se que o desempenho máximo de eficiência é observado no MB (0,78) seguido pelo MF (0,73). O MB também apresentou um valor superior na eficiência média com 0,71, seguido também pelo MF com 0,62. Os níveis mínimos de eficiência são identificados nos MC com 0,31 e ME com 0,43. Destaca-se a unidade U2 referente ao modelo C como a de pior desempenho médio e a unidade U1 com melhor desempenho médio entre as demais unidades.

Tabela 51: Escores de eficiência OEE calculados pela empresa

Eficiência OEE	MODELO B (Unidade feminino Ceará)	MODELO C (Unidade feminino Rio Grande do Sul)	MODELO D (Unidade feminino/esportivo Ceará)	MODELO E (Unidade esportivo Bahia)	MODELO F (Unidade esportivo Ceará)
MÍNIMO	0,65	0,31	0,50	0,43	0,49
MÁXIMO	0,78	0,55	0,67	0,67	0,73
MÉDIA	0,71	0,44	0,58	0,55	0,62
DESV. PAD.	0,04	0,06	0,05	0,07	0,06

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Cabe apontar que as unidades não podem ser comparadas devido ao tipo de escala de produção, mesmo que ambas produzam os mesmos tipos de calçados. A Tabela 51 objetiva evidenciar os níveis de eficiência medidos pelo OEE adaptado pela empresa no período de tempo analisado (janeiro de 2017 a junho de 2019). Conforme apresentado no Capítulo 1 o OEE isoladamente não é suficiente para medir o desempenho de um processo de manufatura como um todo, assim como a eficiência técnica isoladamente medida pela DEA.

Com o objetivo de apresentar as eficiências calculadas para cada uma das cinco unidades produtivas, as duas unidades que produzem calçados do tipo esportivo foram desassociadas do modelo A. Cada unidade foi considerada um modelo individual denominados de modelo E (ME) e modelo F (MF).

Tabela 52: Escores de eficiência do modelo E

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U4M1	jan/17	0,54	0,70	0,76	1,00	0,82	0,82
U4M2	fev/17	0,82	1,00	0,82	1,00	0,82	0,82
U4M3	mar/17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
U4M4	abr/17	0,88	1,00	0,88	1,00	0,75	0,75
U4M5	mai/17	0,93	1,00	0,93	1,00	0,79	0,79
U4M6	jun/17	0,78	0,93	0,84	0,98	0,77	0,77
U4M7	jul/17	0,77	0,92	0,83	0,94	0,71	0,71
U4M8	ago/17	0,87	1,00	0,87	1,00	0,78	0,78
U4M9	set/17	0,79	1,00	0,79	1,00	0,77	0,77
U4M10	out/17	0,69	0,90	0,77	0,99	0,73	0,73
U4M11	nov/17	0,82	1,00	0,82	1,00	0,72	0,72
U4M12	dez/17	0,68	0,83	0,82	0,85	0,65	0,65
U4M13	jan/18	0,70	0,90	0,78	1,00	0,63	0,63
U4M14	fev/18	0,73	0,91	0,80	1,00	0,65	0,65

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U4M15	mar/18	0,93	1,00	0,93	1,00	0,77	0,77
U4M16	abr/18	0,78	0,88	0,89	1,00	0,82	0,82
U4M17	mai/18	0,66	0,86	0,77	1,00	0,83	0,83
U4M18	jun/18	0,68	0,93	0,73	0,96	0,63	0,63
U4M19	jul/18	0,62	1,00	0,62	0,90	0,43	0,43
U4M20	ago/18	0,71	0,87	0,82	0,79	0,48	0,48
U4M21	set/18	0,68	1,00	0,68	0,85	0,59	0,59
U4M22	out/18	0,66	1,00	0,66	1,00	0,59	0,59
U4M23	nov/18	0,59	0,96	0,61	0,86	0,55	0,55
U4M24	dez/18	0,60	0,95	0,64	0,95	0,57	0,57
U4M25	jan/19	0,57	0,98	0,58	0,96	0,53	0,53
U4M26	fev/19	0,60	1,00	0,60	1,00	0,62	0,62
U4M27	mar/19	0,60	1,00	0,60	0,89	0,55	0,55
U4M28	abr/19	0,67	1,00	0,67	1,00	0,71	0,71
U4M29	mai/19	0,62	1,00	0,62	0,97	0,60	0,60
U4M30	jun/19	0,63	0,95	0,66	0,93	0,52	0,52
	MÍNIMO	0,54	0,70	0,58	0,79	0,43	0,43
	MÁXIMO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	MÉDIA	0,72	0,95	0,76	0,96	0,68	0,68
	DESV. PAD.	0,12	0,07	0,11	0,06	0,13	0,13

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para a unidade de calçados esportivos da Bahia denominou-se ME, e para a unidade de calçados esportivos do Ceará MF e os escores de eficiência são apresentados nas Tabelas 52 e 53. Nesse sentido, a Tabela 54 apresenta os seis tipos de eficiências calculados.

Tabela 53: Escores de eficiência do modelo F

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U5M1	jan/17	0,49	0,81	0,60	0,89	0,68	0,68
U5M2	fev/17	0,56	0,83	0,68	1,00	0,72	0,72
U5M3	mar/17	0,62	0,96	0,64	1,00	0,75	0,75
U5M4	abr/17	0,51	0,81	0,63	1,00	0,69	0,69
U5M5	mai/17	0,51	1,00	0,51	1,00	0,61	0,61
U5M6	jun/17	0,53	0,91	0,59	0,92	0,59	0,59
U5M7	jul/17	0,62	1,00	0,62	0,96	0,61	0,61
U5M8	ago/17	0,63	1,00	0,63	1,00	0,61	0,61
U5M9	set/17	0,71	0,98	0,72	1,00	0,72	0,72
U5M10	out/17	0,63	0,73	0,86	0,73	0,70	0,70

DMU	Mês/Ano	Eficiência Econômica (EE)	Eficiência Técnica (ET)	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência Financeira Aberta (EFA)	Eficiência Financeira Fechada (EFF)	Razão (RZ)
U5M11	nov/17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
U5M12	dez/17	0,91	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00
U5M13	jan/18	0,77	0,95	0,81	0,91	0,81	0,81
U5M14	fev/18	0,59	0,84	0,70	0,95	0,65	0,65
U5M15	mar/18	0,62	0,95	0,65	0,98	0,64	0,64
U5M16	abr/18	0,55	0,76	0,73	0,76	0,58	0,58
U5M17	mai/18	0,81	0,96	0,84	0,94	0,87	0,87
U5M18	jun/18	0,83	1,00	0,83	1,00	0,97	0,97
U5M19	jul/18	0,84	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00
U5M20	ago/18	0,88	1,00	0,88	1,00	0,96	0,96
U5M21	set/18	0,60	1,00	0,60	0,69	0,61	0,61
U5M22	out/18	0,58	1,00	0,58	0,98	0,51	0,51
U5M23	nov/18	0,51	0,99	0,51	1,00	0,56	0,56
U5M24	dez/18	0,41	0,75	0,55	0,64	0,36	0,36
U5M25	jan/19	0,48	0,99	0,49	0,87	0,47	0,47
U5M26	fev/19	0,41	1,00	0,41	0,87	0,36	0,36
U5M27	mar/19	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50
U5M28	abr/19	0,50	1,00	0,50	0,97	0,46	0,46
U5M29	mai/19	0,55	0,99	0,56	1,00	0,56	0,56
U5M30	jun/19	0,54	1,00	0,54	1,00	0,55	0,55
	MÍNIMO	0,41	0,73	0,41	0,64	0,36	0,36
	MÁXIMO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	MÉDIA	0,62	0,94	0,66	0,93	0,67	0,67
	DESV. PAD.	0,15	0,09	0,15	0,10	0,18	0,18

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar a Tabela 54 e as Tabelas 25, 33, 41, 52 e 53 verifica-se que a unidade que apresentou o pior desempenho em relação a EE foi a U2 referente ao modelo B com 0,33, seguido da unidade U5, modelo F, com 0,62. Para a eficiência técnica ET, a unidade que apresentou o pior desempenho em relação a EE foi a U2 referente ao modelo B com 0,52. Destaca-se que tanto para a eficiência técnica medida pela empresa, quanto pela calculada pela DEA o MB apresentou o pior desempenho entre as unidades.

Tabela 54: Análise comparativa da eficiência média das unidades produtivas

Tipo de Eficiência	MODELO B (Unidade feminino Ceará)	MODELO C (Unidade feminino Rio Grande do Sul)	MODELO D (Unidade feminino/esportivo Ceará)	MODELO E (Unidade esportivo Bahia)	MODELO F (Unidade esportivo Ceará)
EE	0,63	0,33	0,75	0,72	0,62
ET	0,92	0,52	0,93	0,95	0,94
EA	0,69	0,67	0,81	0,76	0,66
EFA	0,94	0,66	0,95	0,96	0,93
EFF	0,59	0,47	0,80	0,68	0,67
RZ	0,59	0,47	0,80	0,68	0,67

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Observa-se que os níveis médios de eficiência técnica (ET) medidos pelo modelo DEA são superiores aos medidos pelo OEE e que existe uma elevada amplitude em relação aos modelos ME e MF. Essa diferença pode ser explicada pela análise das variáveis de cada um dos modelos. O MB que apresenta elevada eficiência técnica no OEE (0,71), no modelo DEA igualmente mantém elevada eficiência (0,92).

5.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Após a apresentação dos resultados obtidos com as análises a partir da Análise envoltória de Dados (DEA) para os quatro modelos propostos (modelo A, modelo B, modelo C e modelo D), as hipóteses de pesquisa foram testadas para avaliar se a eficiência econômica (EE) apresenta diferença significativa em relação as demais eficiências calculadas para os modelos em análise. O Quadro 23 sintetiza as hipóteses testadas e os resultados obtidos.

Quadro 23: Hipóteses de pesquisa testadas e resultados

Análise comparativa	Hipótese testada	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Eficiência Econômica x Eficiência Técnica	H_{1a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência técnica observada pela DEA.	Rejeita H_{1a}	Rejeita H_{1a}	Rejeita H_{1a}	Rejeita H_{1a}
	H_{1b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência técnica observada pela DEA.	Aceita H_{1b}	Aceita H_{1b}	Aceita H_{1b}	Aceita H_{1b}
Eficiência Econômica x Eficiência Alocativa	H_{2a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência alocativa observada pela DEA.	Rejeita H_{2a}	Rejeita H_{2a}	Rejeita H_{2a}	Rejeita H_{2a}
	H_{2b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência alocativa observada pela DEA.	Aceita H_{2b}	Aceita H_{2b}	Aceita H_{2b}	Aceita H_{2b}
Eficiência Econômica x Eficiência Financeira Aberta	H_{3a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira aberta observada pela DEA.	Rejeita H_{3a}	Rejeita H_{3a}	Rejeita H_{3a}	Rejeita H_{3a}
	H_{3b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira aberta observada pela DEA.	Aceita H_{3b}	Aceita H_{3b}	Aceita H_{3b}	Aceita H_{3b}
Eficiência Econômica x Eficiência Financeira Fechada	H_{4a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira fechada observada pela DEA.	Aceita H_{4a}	Rejeita H_{4a}	Rejeita H_{4a}	Aceita H_{4a}
	H_{4b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida difere se comparada com a eficiência financeira fechada observada pela DEA.	Rejeita H_{4b}	Aceita H_{4b}	Aceita H_{4b}	Rejeita H_{4b}
Eficiência Econômica x Razão	H_{5a} (hipótese nula): Não existem evidências de que a eficiência econômica medida observada pela DEA difere se comparada com a razão da soma ponderada pelos preços dos outputs pelos inputs.	Aceita H_{5a}	Rejeita H_{5a}	Rejeita H_{5a}	Aceita H_{5a}
	H_{5b} (hipótese alternativa): Existem evidências de que a eficiência econômica medida observada pela DEA difere se comparada com a razão da soma ponderada pelos preços dos outputs pelos inputs.	Rejeita H_{5b}	Aceita H_{5b}	Aceita H_{5b}	Rejeita H_{5b}

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quanto às análises efetuadas em relação a eficiência técnica (ET), para os quatro modelos em análise foi aceita a hipótese alternativa H_{1b} pois se identificou que existem evidências da diferença entre as eficiências. Em relação a eficiência alocativa (EA), para os quatro modelos em análise foi aceita a hipótese alternativa H_{2b} pois se identificou que existem evidências da diferença entre as eficiências. Para a eficiência financeira aberta (EFA), para os quatro modelos em análise foi aceita a hipótese alternativa H_{3b} pois se identificou que existem evidências da diferença entre as eficiências.

Quanto às análises das eficiências financeira fechada (EFF) e a razão (RZ) para os modelos B e C é aceita a hipótese alternativa H_{4b} e H_{5b} pois se identificou que existem evidências da diferença entre as eficiências. Para os modelos A e D em análise foi aceita a hipótese nula H_{4a} e H_{5a} pois se identificou que existem não evidências da diferença entre as eficiências em comparação com a eficiência econômica EE. Após apresentar a síntese com os resultados das hipóteses de pesquisa testadas, no próximo capítulo, apresenta-se a discussão acerca dos resultados obtidos.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A pesquisa efetuada contribui para o conhecimento sobre a avaliação da eficiência em sistemas de manufatura, em especial ao tema de Eficiência Econômica (EE) com a utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA), pois considera nos modelos variáveis quantitativas e econômicas. Apesar de muitas pesquisas terem sido desenvolvidas com o propósito de expor os resultados da avaliação da eficiência econômica em sistemas produtivos (DAS; PATEL, 2014; LOZANO; VILLA; EGUIA, 2017; SILAMBARASAN; AZHAGIAH, 2018), não foram encontradas avaliações de eficiência econômica (EE) em sistemas de manufatura, em especial em empresas fabricantes de calçados, como esta pesquisa propõem.

Nesse sentido, entende-se que o estudo contribui para a teoria, pois apresenta evidências da avaliação empírica de seis medidas de eficiência em um sistema de manufatura, a saber: i) eficiência econômica (EE); ii) eficiência técnica (ET), iii) eficiência alocativa (EA); iv) eficiência financeira aberta (EFA), e; v) eficiência financeira fechada (EFF) que fizeram uso da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) e, por fim, a vi) razão (RZ) que é a relação da soma dos *outputs* pela soma dos *inputs* multiplicados pelos respectivos preços médios.

Entende-se que esta pesquisa contempla aspectos considerados importantes por outros pesquisadores (efetua modelagem e medição) e apresenta contribuições para os estudos acerca da eficiência econômica (EE) identificados na revisão sistemática da literatura (RSL) realizada na seção 1.3 do Capítulo 1. Dentre os estudos identificados na RSL, apenas os autores Silambarasan e Azhagaiah (2018) investigaram a eficiência econômica (EE) com mais do que uma medida de eficiência, entretanto essas medidas não são aplicadas ao processo de manufatura.

Nesse sentido, para o presente trabalho foram desenvolvidos quatro modelos (A, B, C e D) para análise do comportamento das seis medidas de eficiência ao longo do tempo em uma empresa fabricante de calçados. A síntese dos modelos pode ser observada nos Quadros 21 e 22 da seção 4.3.5 do Capítulo 4.

A avaliação da eficiência de um sistema de manufatura é uma atividade complexa e requer cuidados quanto a modelagem e definição das variáveis que constituirão a métrica a ser seguida. Nesse sentido, cada uma das seis medidas de eficiência apresenta resultados distintos referente a eficiência de cada modelo avaliado (A, B, C e D).

Nesse sentido, este estudo contribui ao avaliar comparativamente as seis medidas de eficiência e realizar testes estatísticos de hipóteses não paramétricos (Wilcoxon) para validar ou refutar os resultados encontrados. Este procedimento buscou testar a hipótese de que existe evidência estatisticamente significativa de que a eficiência econômica (EE) é diferente das demais medidas de eficiência.

Os resultados demonstraram que em relação a eficiência técnica (ET), eficiência alocativa (EA) e a eficiência financeira aberta (EFA) a eficiência econômica é significativamente diferente para os quatro modelos avaliados (A, B, C e D). Este conhecimento proporciona aos gestores da empresa um novo entendimento sobre a análise de eficiência do sistema de manufatura da empresa e aponta vantagens em relação ao modo de avaliação praticada pelo OEE.

Nesse sentido, a análise da eficiência econômica (EE) apresenta oportunidades quanto a identificação do melhor mix das quantidades das variáveis dados os seus respectivos preços, que minimizem o custo total de produção. Deste modo, a eficiência econômica (EE) avalia tanto a melhor utilização dos recursos fabris, quanto a alocação dos respectivos preços.

Quando confrontados com os resultados da eficiência econômica (EE), os especialistas da empresa indicaram que as avaliações sugeridas por esta análise, tanto em quantidades quanto em preços, podem ser úteis como parâmetros para elaborar estratégias adicionais em busca de melhorias na produtividade e eficiência no desempenho e resultado financeiro geral da empresa, como por exemplo, o correto direcionamento dos recursos produtivos.

Ao analisar os resultados da eficiência técnica (ET), observa-se que a tomada de decisão sem considerar a alocação dos preços das variáveis pode direcionar os gestores para tomadas de decisões equivocadas, como o aumento ou manutenção da utilização de um grupo de variáveis que, economicamente, podem prejudicar o resultado financeiro final da empresa. Quando apresentados os resultados da ET, os especialistas da empresa tomaram ciência de que mesmo um ótimo resultado de eficiência técnica, não necessariamente representa um melhor resultado econômico para a empresa. Entretanto, ao comparar a eficiência técnica (ET) ao OEE praticado pela empresa para medir a eficiência das unidades, os gestores apontaram benefícios quanto a utilização da DEA.

No entanto, ao analisar os resultados da eficiência alocativa (EA), observa-se um efeito oposto à eficiência técnica (ET). De modo que, a tomada de decisão

considerando apenas a alocação dos preços das variáveis pode direcionar os gestores para tomadas de decisões equivocadas, como a perdas de produção por reduzido nível de qualidade de matérias-primas ou como por exemplo substituindo uma mão-de-obra qualificada por uma mão-de-obra de reduzida qualificação a um custo menor. Quando apresentados os resultados da EA, os especialistas da empresa tomaram ciência de que mesmo um ótimo resultado de eficiência alocativa, ou seja, mantendo fixos os volumes e buscando alterar apenas os preços das variáveis, não necessariamente representa um melhor resultado econômico para empresa.

Ao analisar os resultados da eficiência financeira aberta (EFA), observa-se que os índices de eficiência se equiparam aos índices de eficiência técnica (ET), sendo a principal diferença entre os dois modelos é a utilização dos preços das variáveis pela EFA. Entretanto, do mesmo modo que a ET, a tomada de decisão sem considerar a melhor alocação dos preços das variáveis pode direcionar os gestores a tomadas de decisões equivocadas, como o aumento ou manutenção da utilização de um grupo de variáveis que, economicamente, podem prejudicar o resultado financeiro final da empresa. Quando apresentados os resultados da EFA, os especialistas da empresa tomaram ciência de que mesmo um ótimo resultado de eficiência financeira aberta, não necessariamente representa um melhor resultado econômico para a empresa. Entretanto, em relação OEE utilizado para análise de eficiência pela empresa, os gestores apontaram benefícios quanto à utilização do EFA com o uso da DEA.

Em relação à análise dos tipos de eficiência financeira fechada (EFF) e eficiência pela razão (RZ), observa-se que para os quatro modelos (A, B, C e D) analisados nesta pesquisa os resultados foram idênticos. Cabe destacar que para o cálculo da EFF todos os *inputs* foram multiplicados pelos seus respectivos preços e somados compondo um *input* único. O mesmo procedimento foi realizado para o *output*. Com o *input* e o *output* únicos foi calculada a eficiência com o uso da DEA. Para a razão (RZ) o *output* foi multiplicado pelo seu respectivo preço e dividido pela soma dos *inputs* multiplicados pelos respectivos preços. O resultado da divisão do *output* pelo *input* foi considerado o índice de eficiência deste tipo de medida. Para colocar o resultado em mesma base de comparação no intervalo de 0 e 1, dividiu-se o valor encontrado pelo valor máximo para cada uma das DMUs.

Para ambos os cálculos de eficiência EFF e RZ, as variáveis foram agregadas em um único *input* e um único *output*. Deste modo, a tomada de decisão sem considerar as quantidades individuais de cada uma das variáveis e a melhor alocação

dos preços, pode direcionar os gestores para tomadas de decisões equivocadas. Dentre as seis medidas de eficiência apresentadas, a EFF e a RZ são as que apresentam reduzidas oportunidades de análise em relação às variáveis consideradas no modelo e a alocação dos preços para cada uma dessas variáveis.

Quando apresentados os resultados da EFF e RZ aos especialistas da empresa os mesmos tomaram ciência e compreenderam que às análises a partir dessas duas medidas de eficiência apresentam restrições em relação as demais e reduzida flexibilidade operacional para a tomada de decisões. Os especialistas da empresa também apontaram que os resultados obtidos a partir da EFF e RZ não apresentam vantagens em relação aos demais.

A utilização da DEA para comparação dos tipos de medidas de eficiência, em especial da eficiência econômica (EE), é relevante para a empresa efetuar medições comparativas. Tal técnica pode ser replicada nos próximos anos e comparar um período maior. A partir dos resultados da eficiência produtiva os gestores podem estabelecer metas para a melhoria dos resultados organizacionais. A seleção das variáveis *inputs* e *outputs* utilizadas na DEA foi apontada pelos especialistas do processo como um ponto relevante do trabalho, uma vez que as linhas de produtos são medidas por vários indicadores que podem ser substituídos pelo cálculo de eficiência em DEA. Outra característica indicada pelos especialistas é que o acompanhamento da eficiência ao longo do tempo fornece uma base concreta para avaliar o impacto da utilização dos recursos.

Por fim, a pesquisa contribui para as empresas fabricantes de calçados, pois pode servir como base para a implementação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para cálculo de eficiência, em especial a eficiência econômica (EE), em outras organizações do mesmo segmento, visto que demonstra, de forma empírica, que existem benefícios ao avaliar os sistemas de manufatura pelo viés técnico e econômico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou avaliar exploratoriamente a eficiência econômica (EE), alocativa (EA) e técnica (ET) de um sistema de manufatura sob encomenda. Para cumprir o objetivo proposto, realizou-se um estudo de caso em uma empresa do setor calçadista utilizando a técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA).

O emprego da DEA proporcionou um meio eficaz para avaliar o comportamento das eficiências para os tipos de negócio feminino e esportivo da empresa estudada, divididos em quatro modelos, a saber: i) MODELO A, para a análise da eficiência econômica em conjunto das unidades (U4 e U5) que produzem calçados esportivos; ii) MODELO B, para a análise da eficiência econômica da unidade (U1) que produz calçados femininos no estado do Ceará; iii) MODELO C, para a análise da eficiência econômica da unidade (U2) que produz calçados femininos no estado do Rio Grande do Sul, e; iv) MODELO D, para a análise da eficiência econômica da unidade (U3) que produz calçados mistos femininos e esportivos no estado do Ceará.

Ao avaliar comparativamente o comportamento da eficiência econômica (EE) para os quatro modelos (A, B, C e D) observa-se que existe uma diferença significativa em relação as eficiências alocativa (EA) e a técnica (ET). Pode observar-se a partir dos resultados que o modelo de eficiência econômica (EE) representa o desempenho do sistema de manufatura de modo mais completo ao considerar a melhor utilização das quantidades das variáveis dados os seus respectivos preços e busca minimizar a utilização destes. Tal fato não é identificado na ET e EA, pois cada uma das medidas avalia de maneira individual cada quesito.

O negligenciamento do aspecto econômico na análise de eficiência dos sistemas produtivos pode impactar no resultado financeiro da empresa, visto que, os gestores ao priorizarem ações de melhoria apenas em eficiência técnica podem estar adquirindo matérias-primas ou outros insumos produtivos à um elevado valor ou ainda adquirindo equipamentos desnecessários. No entanto, ao priorizarem apenas ações em relação à alocação dos preços dos insumos, equipamentos ou mão-de-obra podem ocorrer perdas de qualidade, aumento de *lead time* e, por fim, afetar as entregas dos produtos.

Sob o ponto de vista teórico, entende-se que a presente pesquisa apresenta contribuições para a teoria existente sobre análise de eficiência econômica (EE) em sistemas de manufatura. A contribuição consiste na apresentação de evidências

empíricas de que existem diferenças significativas entre as eficiências econômica (EE), alocativa (EA) e a técnica (ET) apresentando as vantagens e desvantagens de cada medida para as empresas. Nesta dissertação, esses benefícios podem ser entendidos como oportunidades de melhoria na análise de eficiência no sistema de manufatura das empresas fabricantes de calçados. Tais evidências são escassas na literatura.

Sob o ponto de vista prático, entende-se que por meio da presente avaliação é possível demonstrar aos gestores os efeitos de cada tipo de medida de eficiência e alertá-los sobre pontos relevantes para o processo de manufatura do calçado que podem ser trabalhados para alavancar o desempenho econômico da empresa. Outro aspecto a ser considerado é a apresentação de uma nova medida para a análise de eficiência, em especial a econômica (EE), que pode servir para substituir as análises realizadas pelo OEE na empresa investigada. As evidências apresentadas podem servir de suporte para o uso da eficiência econômica (EE) para as empresas fabricantes de calçado.

Apesar das contribuições citadas, este estudo apresenta limitações. No que se refere ao modelo DEA, não foi possível obter informações referentes às variáveis propostas no modelo inicial. Nesse sentido, foram necessários ajustes nos modelos, como a troca das variáveis referentes aos fretes *inbound* e *outbound*, número de pares em processamento e dentre outras. Nesse sentido, Cook, Tone e Zhu (2014) afirmam que em estudos utilizando a análise envoltória de dados não é possível ter certeza de que todas as variáveis relevantes foram consideradas no modelo, mas deve-se fazer esforços para incluir todas aquelas variáveis que fazem sentido prático para a investigação. Outro aspecto considerado como limitador foi o período de análise. No entanto, essa definição ocorreu em virtude da disponibilidade de dados por parte da empresa.

O presente estudo oferece oportunidade para discutir novas pesquisas referentes ao comportamento da eficiência ao longo do tempo em empresas de manufatura e analisar o processo produtivo de modo geral. Pesquisas futuras podem realizar análises de eficiência econômica em sistemas de manufatura e avançar para a discussão dos alvos e folgas. Também se pode aprofundar o entendimento da eficiência alocativa enquanto uma composição de mix da eficiência econômica. Entende-se que a utilização da lógica da TOC para composição de um modelo de avaliação da eficiência econômica nos sistemas de produção pode ser desenvolvido.

Pesquisas futuras podem ainda aprofundar a análise das supereficiências técnicas e seus impactos nas análises de eficiência econômica. Por fim, entende-se que se deve desdobrar as medidas de eficiência ao nível das operações para compreender seus impactos na eficiência global da empresa.

REFERÊNCIAS

- ABICALÇADOS – Associação Brasileira das Indústrias de Calçados. Relatório setorial: indústria de calçados do Brasil 2018. Novo Hamburgo: Abicalçados, 2018.
- ABRAMO, G.; D'ANGELO, C. A. Assessing technical and cost efficiency of research activities: A case study of the Italian university system. 2009.
- ADLER, M. J.; DOREN, C. VAN. **Como ler livros**. 1. ed. São Paulo: 2015.
- AKEEM, U. O. O.; MOSES, F. An empirical analysis of allocative efficiency of Nigerian commercial Banks: A DEA approach. **International Journal of Economics and Financial Issues**, v. 4, n. 3, p. 465–475, 2014.
- AKHTAR, N.; ZAKIR, N.; GHANI, E. Changing Revealed Comparative Advantage : A Case Study of Footwear Industry of Pakistan. **The Pakistan Development Review**, n. Winter, p. 695–709, 2008.
- ALI, N. A CASE STUDY IN PRODUCTIVITY IMPROVEMENT. n. March, 2018.
- AMBRÓZIO, A. M. H.; FERREIRA, S. G.; SOUSA, F. L. DE. Determinantes da algumas reflexões para a resenha da literatura com produtividade: uma economia brasileira. **Textos para discussão**, 2019.
- ANDERSEN, P.; PETERSEN, N. C. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 39, n. 10, p. 1261–1264, 1993.
- ANDRADE, J. E. P. DE; CORRÊA, A. R. Panorama da indústria mundial de calçados, com ênfase na América Latina. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)**, 2001.
- ANDY FIELD; MILES, J. E.; FIELD, Z. **Discovering statistics Using R**. Los Angeles: 2001. v. 1
- ANTREAS D. ATHANASSOPOULOS; BALLANTINE, J. A. Ratio and frontier analysis for assessing corporate performance: the case of grocery industry in the UK. **Journal of the Operational Research Society**, v. Vol 46:4, n. 4, p. p 427-440, 1995.
- ASGHAR, S. et al. Levels of technical, allocative, and groundwater use efficiency and the factors affecting the allocative efficiency of wheat farmers in Pakistan. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 5, 2018.
- ATHANASSOPOULOS, A. D. Performance improvement decision aid systems (PIDAS) in retailing organizations using data envelopment analysis. **Journal of Productivity Analysis**, v. 6, n. 2, p. 153–170, 1995.
- BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W. . Some models for estimating technical

and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, n. 30, p. 1078–1092, 1984.

BANKER, R. D.; CHANG, H.; NATARAJAN, R. Estimating DEA technical and allocative inefficiency using aggregate cost or revenue data. **Journal of Productivity Analysis**, v. 27, n. 2, p. 115–121, 2007.

BANKER, R. D.; JANAKIRAMAN, S.; NATARAJAN, R. Analysis of trends in technical and allocative efficiency: An application to Texas public school districts. **EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH**, v. 154, n. 2, p. 477–491, 2004.

BANKER, R. D.; NATARAJAN, R. Evaluating Contextual Variables Affecting Productivity Using Data Envelopment Analysis. **Operations Research**, v. 56, n. 1, p. 48–58, 2008.

BARBOSA, L. M. et al. Exploratory analysis of the variables prevailing on the effects of product modularization on production volume and efficiency. **International Journal of Production Economics**, v. 193, n. August, p. 677–690, 2017.

BARRATT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 329–342, 2011.

BEASLEY, J. E. Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis. v. 147, p. 198–216, 2003.

BIYE, S. U.; LAWAL, H.; JONGUR, A. U. ALLOCATIVE EFFICIENCY OF GROUNDNUT (*Arachis hypogea* L.) PRODUCTION IN BAUCHI STATE, NIGERIA. **SCIENTIFIC PAPERS-SERIES MANAGEMENT ECONOMIC ENGINEERING IN AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT**, v. 18, n. 2, p. 51–58, 2018.

BLOMBERG, J.; JONSSON, B. Evaluating the efficiency of the global primary aluminum smelting industry: a data envelopment approach. **Mineral Economics**, v. 24, n. 1, p. 29–44, 2011.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **The craft of research**. 2. ed. [s.l.] The University of Chicago Press, 2003.

BRITO, A. P. et al. IDENTIFICAÇÃO DOS CUSTOS PELO MÉTODO DE CUSTEIO BASEADO EM CALÇADISTA DO SERTÃO. 2016.

CAMANHO, A. S.; DYSON, R. G. Cost efficiency measurement with price uncertainty: A DEA application to bank branch assessments. **European Journal of Operational Research**, v. 161, n. 2, p. 432–446, 2005.

CAMANHO, A. S.; DYSON, R. G. A generalisation of the Farrell cost efficiency

measure applicable to non-fully competitive settings. **Omega**, v. 36, n. 1, p. 147–162, 2008.

CHARNES, A. et al. Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. **Journal of Econometrics**, v. 30, n. 1–2, p. 91–107, 1985.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; R.M. THARALL. Classifying and characterizing efficiencies and inefficiencies in data development analysis. **Operations Research Letters**, v. 5, n. 3, 1986.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through. **Management Science**, v. 27, n. 6, p. 668–697, 1981.

CHIARADIA, Á. J. P. Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: Um estudo de caso na indústria automobilística. 2004.

CHIZARI, A. H. H.; FEHRESTI-SANI, M. Evaluation of the economic efficiency of vegetable oil supply chains. **Supply Chain Forum**, v. 19, n. 2, p. 132–141, 2018.

COELLI, T. A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models. **Operations Research Letters**, v. 23, n. 3–5, p. 143–149, 1998.

COELLI, T. et al. Incorporating quality of service in a benchmarking model: an application to French electricity distribution operators. **available at: [http://www. gis-larsen. org/Pdf/Plagnet. pdf](http://www.gis-larsen.org/Pdf/Plagnet.pdf), June**, p. 1–20, 2008.

COELLI, T. J. et al. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. New York: Elsevier, 2005.

COLAÇO, G. A. **IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS ERGONÔMICAS EM UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA: Uma análise de suas influências sobre as condições de trabalho na atividade de desenformar calçados**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 2013.

CONCEIC, M.; PORTELA, A. S.; THANASSOULIS, E. Profitability of a sample of Portuguese bank branches and its decomposition into technical and allocative components. v. 162, p. 850–866, 2005.

COOK, W. D.; TONE, K.; ZHU, J. Data envelopment analysis: Prior to choosing a

model. **Omega (United Kingdom)**, v. 44, p. 1–4, 2014.

COOPER, WILLIAM W. SEIFORD, LAWRENCE M. TONE, K. **DATA ENVELOPMENT ANALYSIS A Comprehensive Text with Models , Applications , References Second Edition**. [s.l: s.n.].

COOPER, W. W. et al. **Handbook on Data Envelopment Analysis**. [s.l: s.n.]. v. 164

COOPER, W. W.; THOMPSON, R. G.; THRALL, R. M. Chapter 1 Introduction: Extensions and new developments in DEA. **Annals of Operations Research**, v. 66, n. 1, p. 1–45, 1996.

CUMMINS, J. D.; XIE, X. Efficiency, productivity, and scale economies in the U.S. property-liability insurance industry. **Journal of Productivity Analysis**, 2013.

CUNHA, A. M. DA. **RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO SETORIAL COURO E CALÇADOS** Campinas Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABID, , 2008.

D'ANTONIO, G.; BEDOLLA, J. S.; CHIABERT, P. A Novel Methodology to Integrate Manufacturing Execution Systems with the Lean Manufacturing Approach. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 2243–2251, 2017.

DAS, S.; PATEL, G. N. N. Cost efficiency of pharmaceutical firms manufacturing drugs for specific diseases prevalent in India: A data envelopment analysis approach. **Journal of Medical Marketing**, v. 14, n. 1, p. 5–19, 2014.

DE JAEGER, S. et al. Wasteful waste-reducing policies? The impact of waste reduction policy instruments on collection and processing costs of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 31, n. 7, p. 1429–1440, 2011.

DE PARIS, A. Overall Equipment Effectiveness - OEE: Necessário, mas não suficiente. Uma análise integrando OEE e a Data Envelopment Analysis - DEA. 2016.

DE SOUZA, I. G. et al. Do the improvement programs really matter? An analysis using data envelopment analysis. **BRQ Business Research Quarterly**, v. 21, n. 4, p. 225–237, 2018.

DIEWERT, W. E. et al. THE MEASUREMENT OF PRODUCTIVITY FOR NATIONS *. v. 6, n. 07, 2007.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design science research: A method for science and technology advancement**. [s.l: s.n.].

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research**. [s.l: s.n.].

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. DESIGN SCIENCE

RESEARCH: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia. **Gestão Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

DUBÉ, L.; PARÉ, G. Rigor in Information Systems Positivist Case Research: Current Practices, Trends and Recommendations. v. 27, n. 4, p. 597–635, 2003.

DYER, W. G.; WILKINS, A. L. Better Stories, Not Better Constructs, To Generate Better Theory: a Rejoinder To Eisenhardt. **Academy of Management Review**, v. 16, n. 3, p. 613–619, 1991.

EISENHARDT, K. M.; GRAEBNER, M. E. Theory building from cases: Opportunities and challenges. **Academy of Management Journal**, v. 50, n. 1, p. 25–32, 2007.

EISENHARDT, M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. LIANG. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, p. 4–8, 2018.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C. A. K. **The Measurement of Efficiency of Production**. [s.l.: s.n.].

FARREL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.

FERREIRA, C. M. DE C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. [s.l.] UFV, 2009.

FILHO, M. G.; FERNANDES, F. C. F.; LIMA, A. D. DE. Pesquisa em Gestão da Produção na indústria de calçados: revisão, classificação e análise. **Gestão & Produção**, p. 163–186, 2009.

FØRSUND, F. R. Economic interpretations of DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, n. 1, p. 9–15, 2017.

FRIED, H. O. et al. Accounting for Environmental Effects and Statistical. **Journal of Productivity Analysis**, v. 17, p. 157–174, 2002.

FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. Efficiency and Productivity. In: **The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth**. [s.l.: s.n.]. p. 1–106.

FUKUYAMA, H.; WEBER, W. L. Economic inefficiency measurement of input spending when decision-making units face different input prices. **Journal of the Operational Research Society**, v. 55, n. 10, p. 1102–1110, 2004.

GASTWIRTH, J. L.; GEL, Y. R.; MIAO, W. The Impact of Levene's Test of Equality of

Variances on Statistical Theory and Practice. **Statistical Science**, v. 24, n. 3, p. 343–360, 2009.

GATTOUFI, S.; ORAL, M.; REISMAN, A. **Data envelopment analysis literature: A bibliography update (1951-2001)**. [s.l: s.n.]. v. 38

GILSA, C. VON. **Avaliação Longitudinal Da Eficiência E Fato Total De Produtividade Em Uma Empresa Petroquímica a Partir Da Análise Envoltória De Dados (Dea) E Do Índice De Malmquist**. [s.l: s.n.].

GILSA, C. VON et al. Longitudinal evaluation of efficiency in a petrochemical company. 2017.

GREGORIOU, G. N.; GULTEK, M. M.; DEMIRER, I. Efficiency of Cruise Ships: A Data Envelopment Analysis Approach. **International Journal of Global Business**, v. 10, n. 1, p. 8–25, jun. 2017.

GRIFELL-TATJÉ, E.; LOVELL, C. A. K. K. Profits and Productivity. **Management Science**, v. 45, n. 9, p. 1177–1193, 2008.

GUERRINI, A. et al. Cost Savings in Wastewater Treatment Processes: the Role of Environmental and Operational Drivers. **WATER RESOURCES MANAGEMENT**, v. 31, n. 8, SI, p. 2465–2478, jun. 2017.

GUIDOLIN, S. M. et al. Indústria calçadista e estratégias de fortalecimento da competitividade. **BNDES Setorial**, v. 31, p. 147–148, 2010.

GUIDOLIN, S. M.; COSTA, A. C. R. DA; ROCHA, É. R. P. DA. Indústria calçadista e estratégias de fortalecimento da competitividade. **BNDES Setorial**, v. 31, p. 147–184, 2010.

HAELERMANS, C.; RUGGIERO, J. Estimating technical and allocative efficiency in the public sector: A nonparametric analysis of Dutch schools. **EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH**, v. 227, n. 1, p. 174–181, 2013.

HAIR, J. F. J. et al. **Análise Multivariada de Dados**. [s.l: s.n.].

HANSSON, H. Are larger farms more efficient? A farm level study of the relationships between efficiency and size on specialized dairy farms in Sweden. **Agricultural and Food Science**, v. 17, n. 4, p. 325–337, 2008.

HANSSON, H.; ÖHLMÉR, B. The effect of operational managerial practices on economic, technical and allocative efficiency at Swedish dairy farms. **Livestock Science**, v. 118, n. 1/2, p. 34–43, out. 2008.

HASHMI, M. S.; KAMRAN, M. A.; BASHIR, M. A. **ALOCATIVE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL FARMS IN SOUTH PUNJAB OF PAKISTAN (A CASE**

STUDY).Science InternationalAsianet-Pakistan, , jan. 2016. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fst&AN=115940518&lang=pt-br&site=ehost-live>>

HASSAN, H. I. I.; JREISAT, A. Cost efficiency of the Egyptian banking sector: A panel data analysis. **International Journal of Economics and Financial Issues**, v. 6, n. 3, p. 861–871, 2016.

HASSAN, M. K.; ISIK, I.; MAMUN, A. Trade liberalization and industry performance in Bangladesh. **Journal of Policy Modeling**, v. 32, n. 3, p. 399–417, 2010.

JAHANSHALOO, G. R.; SOLEIMANI-DAMANEH, M.; MOSTAFABEE, A. Short Communication A simplified version of the DEA cost efficiency model. v. 184, p. 814–815, 2008.

JAIN, S.; TRIANTIS, K. P.; LIU, S. Manufacturing performance measurement and target setting: A data envelopment analysis approach. **European Journal of Operational Research**, v. 214, n. 3, p. 616–626, 2011.

JOHANNESSEN, K. A.; KITTELSEN, S. A. C.; HAGEN, T. P. Assessing physician productivity following Norwegian hospital reform: A panel and data envelopment analysis. **Social Science and Medicine**, 2017.

JUNIOR, B. D. O. M.; XIMENES, L. J. F. PRODUÇÃO E DESEMPENHO DAS INDÚSTRIAS DE COUROS E CALÇADOS DO NORDESTE , NORTE DE MINAS GERAIS E DO ESPÍRITO SANTO. p. 1–18, 2018.

KASSANEH, T. C.; WORKALEMAHU, R. N. Performance Measurement and Improvement Method for Leather Footwear Industries. **Journal of Engineering, Project, and Production Management**, v. 8, n. 2, p. 97–104, 2018.

KILIC, O.; CEYHAN, V.; ALKAN, I. Determinants of economic efficiency: A case study of hazelnut (*Corylus avellana*) farms in samsun province Turkey. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, 2009.

KLAUS, T. **A INFLUÊNCIA DO VAREJO FAST FASHION NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA CALÇADISTA**. [s.l.: s.n.].

KNEIP, A.; PARK, B. U.; SIMAR, L. a Note on the Convergence of Nonparametric Dea Estimators for Production Efficiency Scores. **Econometric Theory**, v. 14, n. 6, p. 783–793, 1998.

KUOSMANEN, T.; CHERCHYE, L.; SIPILÄINEN, T. The law of one price in data envelopment analysis: Restricting weight flexibility across firms. **European Journal of**

Operational Research, v. 170, n. 3, p. 735–757, 2006.

KUOSMANEN, T.; POST, T. Measuring economic efficiency with incomplete price information: With an application to European commercial banks. **European Journal of Operational Research**, 2001.

KUOSMANEN, T.; POST, T. Measuring economic efficiency with incomplete price information. 2003.

KUOSMANEN, T.; POST, T.; SIPILÄINEN, T. Shadow Price Approach to Total Factor Productivity Measurement: With an Application to Finnish Grass-Silage Production Shadow Price Approach to Total Factor Productivity Measurement: With an Application to Finnish Grass-Silage Production. v. 22, n. 1, p. 95–121, 2016.

LAWRENCE M. SEIFORD. Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978-1995). **The Journal of Productivity Analysis**, v. 7, n. 2, p. 99–137, 1996.

LEACHMAN, R. C.; DING, S.; CHIEN, C.-F. Economic efficiency analysis of wafer fabrication. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 4, n. 4, p. 501–512, 2007.

LIU, J. S. et al. A survey of DEA applications. **Omega**, v. 41, n. 5, p. 893–902, 1 out. 2013.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M. Research fronts in data envelopment analysis. **Omega (United Kingdom)**, v. 58, p. 33–45, 2016.

LOZANO, S.; VILLA, G.; EGUÍA, I. Data envelopment analysis with multiple modes of functioning. Application to reconfigurable manufacturing systems. **INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH**, v. 55, n. 24, p. 7566–7583, 2017.

LOZANO, S.; VILLA, G.; EGUÍA, I. Data envelopment analysis with multiple modes of functioning. Application to reconfigurable manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, p. 1–18, 2017.

LU, W.-M. et al. Exploring the benchmarks of the Taiwanese investment trust corporations: Management and investment efficiency perspectives. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 2, p. 607–618, 16 jan. 2016.

MANIADAKIS, N.; THANASSOULIS, E. A cost Malmquist productivity index. v. 154, p. 396–409, 2004.

MANJUNATHA, A. V. et al. Impact of groundwater markets in India on water use efficiency: A data envelopment analysis approach. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 11, p. 2924–2929, 2011.

- MANSON, N. Is operations research really research? **ORiON: The Journal of ORSSA**, v. 22, n. 2, p. 155–180, 2006.
- MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. [s.l: s.n.].
- MARIZ, F. B. A. R.; ALMEIDA, M. R.; ALOISE, D. A review of Dynamic Data Envelopment Analysis: state of the art and applications. **International Transactions in Operational Research**, v. 25, n. 2, p. 469–505, 2017.
- MARQUES, R. **Eficiência em Operações de Serviços: Métricas de Avaliação e identificação dos Impactos da Participação do Cliente**. [s.l: s.n.].
- MARQUES, R. C.; SILVA, D. Inferência Estatística dos Estimadores de Eficiência obtidos com a Técnica Fronteira Não Paramétrica de DEA . Uma Metodologia de Bootstrap. v. 26, p. 89–110, 2006.
- MCDONALD, J. Using least squares and tobit in second stage DEA efficiency analyses. **European Journal of Operational Research**, v. 197, n. 2, p. 792–798, 2009.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. [s.l: s.n.].
- MORO, A. R. P. et al. Contabilidade de Custos Aplicada ao Setor Calçadista: Um Estudo de Caso. **Revista Científica Semana Acadêmica**, 2017.
- MOSTAFAEI, A.; SALJOOGHI, F. H. Cost efficiency measures in data envelopment analysis with data uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 2, p. 595–603, 2010.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 13, p. 3517–3535, 2008.
- NANCI, L. C. Estudo da eficiência de empresas distribuidoras de jornais usando análise envoltória de dados. v. 7, p. 27–35, 2004.
- NATARAJA, N. R.; JOHNSON, A. L. Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 215, n. 3, p. 662–669, 2011.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. **Performance measurement system design: A literature review and research agenda**. [s.l: s.n.]. v. 25
- NEGRI, F. DE; ALMEIDA, M. INOVAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE ACUMULAÇÃO DE

- CONHECIMENTO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA. In: **Estrutura Produtiva Avançada: desafios do desenvolvimento produtivo brasileiro**. [s.l: s.n.]. v. 1.
- NEGRI, F. DE; CAVALCANTE, L. R. **Produtividade No Brasil Desempenho e Determinantes**. 1. ed. Brasília: IPEA, 2014.
- OLESIAK, E. M. et al. Utilização de métodos de custeio como instrumento de gestão : um estudo em empresa calçadista da serra gaúcha. **XXIII Congresso Brasileiro de Custos**, 2016.
- PARK, J.; LEE, D.; ZHU, J. An integrated approach for ship block manufacturing process performance evaluation: Case from a Korean shipbuilding company. **International Journal of Production Economics**, v. 156, p. 214–222, 2014.
- PAULA, N. M. DE; FUCK, M. P. Os desafios da indústria calçadista brasileira: competir ou proteger? v. 8, 2012.
- PIRAN, F. A. S. **Modularização de produtos e os efeitos sobre a eficiência técnica: Uma avaliação em uma fabricante de ônibus**. [s.l: s.n.].
- PIRAN, F. A. S. et al. Modularization strategy: analysis of published articles on production and operations management (1999 to 2013). **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 86, n. 1–4, p. 507–519, 2016.
- PIRAN, F. A. S. et al. Product modularity and its effects on the production process: an analysis in a bus manufacturer. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 88, n. 5–8, p. 2331–2343, 2017.
- PIRAN, F. A. S.; LACERDA, D. P.; CAMARGO, L. F. R. **Análise e Gestão da Eficiência: Aplicação em Sistemas Produtivos de Bens e de Serviços**. 1. ed. Porto Alegre: Elsevier, 2018.
- POERSCHKE, R. P. **A APLICAÇÃO DE DIREITOS ANTIDUMPING NO BRASIL: O CASO DOS CALÇADOS IMPORTADOS DA CHINA**. [s.l: s.n.].
- PORTELA, M. C. A. S.; THANASSOULIS, E. Economic efficiency when prices are not fixed: Disentangling quantity and price efficiency. **Omega (United Kingdom)**, v. 47, p. 36–44, 2014a.
- PORTELA, M. C. A. S.; THANASSOULIS, E. Economic efficiency when prices are not fixed: Disentangling quantity and price efficiency. **Omega (United Kingdom)**, v. 47, p. 36–44, 2014b.
- PUIG-JUNOY, J. Partitioning input cost efficiency into its allocative and technical components: An empirical DEA application to hospitals. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 34, n. 3, p. 199–218, 2000.

- RAY, S. Cost efficiency in an Indian bank branch network: A centralized resource allocation model. **OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE**, v. 65, p. 69–81, 2016.
- RAY, S. C.; KIM, H. J. COST EFFICIENCY IN THE UNITED-STATES STEEL-INDUSTRY - A NONPARAMETRIC ANALYSIS USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS. **EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH**, v. 80, n. 3, p. 654–671, 1995.
- RAY, S. C.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Market entity behavior of Chinese state-owned enterprises. **Omega**, v. 26, n. 2, p. 263–278, 1998.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk , Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, n. 1, p. 21–33, 2011.
- REZENDE, M. L.; MONTEIRO, R. G. Estudo Da Produtividade Da Indústria Mineira E Seu Desempenho Diante Da Nacional , No Período De 1996 a Study of the Productivity of Minas Gerais ' Industry and Its Performance Against the National , Between 1996 and 2004. v. VIII, 2008.
- SABONIENĖ, A.; KARAZIJIENĖ, Ž. Productivity Dynamics in Lithuanian Manufacturing Industry. **Economics & Management**, v. 17, n. 2, p. 560–566, 2012.
- SAHOO, B. K.; KERSTENS, K.; TONE, K. Returns to growth in a nonparametric DEA approach. v. 19, p. 463–486, 2012.
- SAHOO, B. K.; MEHDILOOZAD, M.; TONE, K. Cost, revenue and profit efficiency measurement in DEA: A directional distance function approach. **European Journal of Operational Research**, v. 237, n. 3, p. 921–931, 2014.
- SAHOO, B. K.; TONE, K. Radial and non-radial decompositions of profit change: With an application to Indian banking. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 3, p. 1130–1146, 2009.
- SARKAR, S. A modified multiplier model of BCC DEA to determine cost-based efficiency. **Benchmarking**, v. 24, n. 6, p. 1508–1522, 2017.
- SARRA, A.; MAZZOCCHITTI, M.; RAPPOSELLI, A. Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 756–771, 2017.
- SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research Methods for Students**. [s.l: s.n.].

- SCHAFFNIT, C.; ROSEN, D.; PARADI, J. C. Best practice analysis of bank branches : An application of DEA in a large Canadian bank. v. 98, p. 269–289, 1997.
- SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis: The evolution of the state of the art (1978-1995). **Journal of Productivity Analysis**, v. 7, n. 2–3, p. 99–137, 1996.
- SEIFORD, L. M.; THRALL, R. M. Recent developments in DEA. **Journal of Econometrics**, v. 46, n. 1–2, p. 7–38, out. 1990.
- SENGUPTA, J.; SAHOO, B. Efficiency models in data envelopment analysis: Techniques of evaluation of productivity of firms in a growing economy. In: **Efficiency Models in Data Envelopment Analysis**. [s.l: s.n.].
- SENGUPTA, J.; SAHOO, B. **Productivity and Efficiency Analysis**. [s.l: s.n.].
- SENRA, L. F. A. DE C. et al. ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS EM DEA. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 191–207, 2007.
- SHI, X. et al. Estimation of potential gains from bank mergers: A novel two-stage cost efficiency DEA model. **JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY**, v. 68, n. 9, p. 1045–1055, 2017.
- SHIRAZ, R. K. et al. Chance-constrained cost efficiency in data envelopment analysis model with random inputs and outputs. 2018.
- SILAMBARASAN; AZHAGIAH, R. Operating Efficiency of Small Size Acquired Manufacturing Firms in India. **SCMS Journal of Indian Management**, 2018.
- SILVA, A. H. D. Avaliação ambiental do setor calçadista sob a ótica da gestão de resíduos sólidos. p. 147, 2016.
- SILVA, A. L. E. et al. Aumento do desempenho fabril sob a luz da teoria das restrições: o caso de uma fábrica de colchões. **Revista Produção Online**, v. 17, n. 1, p. 3, 2017.
- SILVA PORTELA, M. C. A. Value and quantity data in economic and technical efficiency measurement. **Economics Letters**, v. 124, n. 1, p. 108–112, 2014.
- SILVA PORTELA, M. C. A.; THANASSOULIS, E. Economic efficiency when prices are not fixed: disentangling quantity and price efficiency. **OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE**, v. 47, p. 36–44, 2014.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. Some Problems with the Ferrier/Hirschberg Bootstrap Idea. **Journal of Productivity Analysis**, v. 11, n. 1, p. 67–80, 1999.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. **Journal of Econometrics**, v. 136, n. 1, p. 31–64, 2007.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. Statistical inference in nonparametric frontier models. **The**

Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth, v. 78, n. 98, p. 421–521, 2008.

SOMMER, A. T. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CUSTEIO BASEADO EM ATIVIDADES - ABC, COMO FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS NA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE CALÇADOS ANDARILHO LTDA.** [s.l: s.n.].

SOUZA, I. G. DE. Os programas de melhoria realmente importam? Avaliação em uma empresa de manufatura. p. 200, 2014.

SUEYOSHI, T. Measuring efficiencies and returns to scale of Nippon telegraph & telephone in production and cost analyses. **Management Science**, 1997.

SUSAETA, A. et al. Technical, allocative, and total profit efficiency of loblolly pine forests under changing climatic conditions. **Forest Policy and Economics**, v. 72, p. 106–114, 2016.

THANASSOULIS, E. et al. Assessing the cost-effectiveness of university academic recruitment and promotion policies. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 742–755, 2018.

THANASSOULIS, E.; PORTELA, M. C. S.; DESPI, O. Data Envelopment Analysis: The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis. In: **The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change.** [s.l: s.n.]. p. 1–161.

THANASSOULIS, E.; SILVA, M.; GRAVENEY, M. Identifying the scope for savings at inpatient episode level : An illustration applying DEA to chronic obstructive pulmonary disease. **European Journal of Operational Research**, v. 255, n. 2, p. 570–582, 2016.

THOMPSON, R. G. et al. The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. **Journal of Econometrics**, v. 46, n. 1–2, p. 93–108, 1990.

TOLOO, M. A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption. **MEASUREMENT**, v. 85, p. 175–183, 2016.

TOMASSINI, R. D. A. S. **A HISTÓRIA INTERESSA: PATH DEPENDENCE E A INDÚSTRIA CALÇADISTA.** [s.l: s.n.].

TONE, K. A strange case of the cost and allocative efficiencies in DEA. **Journal of the Operational Research Society**, v. 53, n. 11, p. 1225–1231, 2002.

TONE, K.; SAHOO, B. K. Evaluating cost efficiency and returns to scale in the Life Insurance Corporation of India using data envelopment analysis. **Socio-Economic**

- Planning Sciences**, v. 39, n. 4, p. 261–285, 2005.
- TONE, K.; SAHOO, B. K. Re-examining scale elasticity in DEA. n. June, p. 69–87, 2006.
- USMAN, M. et al. An Efficiency analysis of Gladiolus Cut-Flower in Punjab, Pakistan. **Agricultural Sciences**, v. 06, n. 07, p. 663–669, 2015.
- VENKATESH, A.; KUSHWAHA, S. Socio-Economic Planning Sciences Short and long-run cost efficiency in Indian public bus companies using Data Envelopment Analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, p. 29–36, 2018a.
- VENKATESH, A.; KUSHWAHA, S. Short and long-run cost efficiency in Indian public bus companies using Data Envelopment Analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, n. SI, p. 29–36, mar. 2018b.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002.
- WONG, W. P. et al. A preliminary study on using Data Envelopment Analysis (DEA) in measuring supply chain efficiency. **International Journal of Applied Systemic Studies**, 2007.
- WU, H.-Q. et al. A dea-based measurement of effectiveness of provincial image advertisement for local tourism destination: Evidence from China. **International Journal of Management and Decision Making**, v. 13, n. 2, p. 192–206, 2014.
- WU, H. et al. Measuring Performance of Sustainable Manufacturing with Recyclable Wastes: A Case from China's Iron and Steel Industry. **Omega**, 2017.
- YANG, L.; ZHANG, X. Assessing regional eco-efficiency from the perspective of resource, environmental and economic performance in China: A bootstrapping approach in global data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 173, p. 100–111, 2018.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e metodos**. [s.l.: s.n.].
- ZERVOPOULOS, P.; PALASKAS, T. Applying quality-driven, efficiency-adjusted DEA (QE-DEA) in the pursuit of high-efficiency–high-quality service units: an input-oriented approach. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 22, n. 4, p. 401–417, out. 2011.
- ZHOU, H. et al. Data envelopment analysis application in sustainability: The origins, development and future directions. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 1, p. 1–16, 2018a.

ZHOU, X. et al. Data envelopment analysis for bi-level systems with multiple followers. **Omega (United Kingdom)**, v. 77, p. 180–188, 2018b.

ZHU, D.-S. et al. Managing airline productivity using data envelopment analysis. **International Journal of Business Performance Management**, v. 13, n. 3–4, p. 294–311, 2012.

ZHU, J. **Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking, Data Envelopment Analysis with Spreadsheets**. [s.l: s.n.].

ZHU, J. **Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking**. Cham: Springer International Publishing, 2014. v. 213

ZULFIQAR, F.; DATTA, A.; THAPA, G. B. Determinants and resource use efficiency of “better cotton”: An innovative cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**, 2017.

ANEXO A – PROTOCOLO DE PESQUISA

Quadro 24: Protocolo de revisão sistemática

Framework Conceitual: A análise de eficiência econômica com a aplicação da análise envoltória de dados (DEA) é realizada visando o cálculo das eficiências técnica e alocativa com o objetivo de identificar ineficiências no sistema em análise. Por sua vez, a DEA propõe uma solução robusta centrada na identificação das perdas dos recursos produtivos.				
Contexto:	A pesquisa focará aplicação de eficiência econômica no contexto dos sistemas produtivos com enfoque específico em sistemas de manufatura.			
Horizonte:	Estudos entre 1978 e 2018			
Perspectiva Teórica	Eficiência Econômica			
Idiomas:	Inglês			
Questão de Revisão: Como tem evoluído as pesquisas sobre aplicação de eficiência econômica com a aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) em sistemas de manufatura				
Estratégia de Revisão	<input checked="" type="checkbox"/> Agregativa		<input type="checkbox"/> Configurativa	
Crítérios de Busca	Crítérios de Inclusão		Crítérios de Exclusão	
	Eficiência Econômica Análise Envoltória de Dados Estudos Empíricos		Estudos de áreas da saúde e hospitais Relações públicas e/ou políticas Sustentabilidade Trabalhos teóricos Modelagem matemática Revisões de literatura	
Termos de Busca:	Data Envelopment Analysis Economic efficiency Cost efficiency Revenue efficiency; Profit efficiency Allocative efficiency Combinação dos termos de busca estão conforme Quadro 1			
Fontes de Busca:				
Bases de Dados:	SCOPUS	EBSCO	SCIELO	WOS

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO B – VARIACÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 4 – MODELO A

Tabela 55: Variação do volume e preço da unidade 4 – modelo A

DMU	Mês/Ano	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
U4M1	jan/17	13,41	271,94	0,06
U4M2	fev/17	16,80	158,88	0,00
U4M3	mar/17	26,98	159,93	0,01
U4M4	abr/17	16,96	115,32	0,01
U4M5	mai/17	10,02	199,48	0,02
U4M6	jun/17	6,00	41,37	0,00
U4M7	jul/17	10,07	139,90	0,01
U4M8	ago/17	8,44	163,63	0,02
U4M9	set/17	9,30	90,41	0,01
U4M10	out/17	4,99	47,89	0,03
U4M11	nov/17	2,31	16,44	0,01
U4M12	dez/17	9,79	21,76	0,02
U4M13	jan/18	5,95	28,52	0,00
U4M14	fev/18	16,36	213,24	0,02
U4M15	mar/18	4,76	163,60	0,03
U4M16	abr/18	15,05	92,37	0,00
U4M17	mai/18	8,53	44,66	0,04
U4M18	jun/18	5,85	45,86	0,00
U4M19	jul/18	8,60	82,41	0,00
U4M20	ago/18	5,83	53,80	0,00
U4M21	set/18	0,92	17,26	0,00
U4M22	out/18	1,94	24,85	0,00
U4M23	nov/18	3,66	20,99	0,00
U4M24	dez/18	1,38	20,32	0,00
U4M25	jan/19	9,34	57,77	0,01
U4M26	fev/19	9,77	50,41	0,01
U4M27	mar/19	15,71	84,75	0,02
U4M28	abr/19	7,52	44,07	0,01
U4M29	mai/19	3,43	30,46	0,00
U4M30	jun/19	-	-	-
	MÍNIMO	0,92	16,44	0,00
	MÁXIMO	26,98	271,94	0,06
	MÉDIA	8,95	86,29	0,01
	DESV. PAD.	5,85	69,25	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO C – VARIÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 5 – MODELO A

Tabela 56: Variação volume e preço da unidade 5 – modelo A

DMU	Mês/Ano	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
U5M1	jan/17	11,45	78,07	0,00
U5M2	fev/17	3,58	59,26	0,01
U5M3	mar/17	17,46	134,13	0,00
U5M4	abr/17	17,29	133,52	0,00
U5M5	mai/17	9,28	53,54	0,00
U5M6	jun/17	3,96	76,16	0,01
U5M7	jul/17	4,40	40,26	0,00
U5M8	ago/17	0,51	21,24	0,00
U5M9	set/17	13,70	134,29	0,01
U5M10	out/17	19,21	185,83	0,01
U5M11	nov/17	8,00	94,78	0,01
U5M12	dez/17	3,48	12,48	0,00
U5M13	jan/18	11,84	99,98	0,00
U5M14	fev/18	8,31	80,23	0,01
U5M15	mar/18	10,67	87,61	0,00
U5M16	abr/18	15,74	112,67	0,00
U5M17	mai/18	0,55	31,03	0,01
U5M18	jun/18	1,41	12,27	0,00
U5M19	jul/18	4,79	72,97	0,01
U5M20	ago/18	23,17	173,40	0,00
U5M21	set/18	17,75	144,38	0,00
U5M22	out/18	4,32	13,18	0,01
U5M23	nov/18	23,69	163,04	0,01
U5M24	dez/18	14,89	126,75	0,00
U5M25	jan/19	9,91	98,82	0,01
U5M26	fev/19	10,44	71,93	0,00
U5M27	mar/19	1,29	24,36	0,01
U5M28	abr/19	7,46	53,48	0,00
U5M29	mai/19	2,80	39,76	0,01
U5M30	jun/19	-	-	-
	MÍNIMO	0,51	12,27	0,00
	MÁXIMO	23,69	185,83	0,01
	MÉDIA	9,70	83,77	0,01
	DESV. PAD.	6,80	50,46	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO D – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 1 – MODELO B

Tabela 57: Variação volume e preço da unidade 1 – modelo B

DMU	Mês/Ano	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
U1M1	jan/17	0,56	9,24	0,00
U1M2	fev/17	5,14	9,24	0,01
U1M3	mar/17	2,91	45,15	0,02
U1M4	abr/17	6,97	31,44	0,00
U1M5	mai/17	5,03	84,15	0,07
U1M6	jun/17	4,05	68,36	0,06
U1M7	jul/17	0,52	7,75	0,00
U1M8	ago/17	4,00	30,01	0,01
U1M9	set/17	21,53	89,32	0,03
U1M10	out/17	15,71	110,91	0,01
U1M11	nov/17	1,46	45,59	0,03
U1M12	dez/17	1,03	0,35	0,00
U1M13	jan/18	13,59	42,47	0,03
U1M14	fev/18	5,00	25,38	0,01
U1M15	mar/18	1,03	29,60	0,02
U1M16	abr/18	7,77	6,63	0,05
U1M17	mai/18	13,26	54,29	0,00
U1M18	jun/18	1,90	23,85	0,02
U1M19	jul/18	0,87	30,62	0,03
U1M20	ago/18	0,80	24,38	0,02
U1M21	set/18	12,91	29,20	0,03
U1M22	out/18	9,27	56,74	0,00
U1M23	nov/18	3,49	15,07	0,00
U1M24	dez/18	0,07	0,75	0,00
U1M25	jan/19	3,04	25,11	0,00
U1M26	fev/19	4,19	37,84	0,01
U1M27	mar/19	7,75	50,50	0,00
U1M28	abr/19	4,01	10,32	0,01
U1M29	mai/19	4,60	29,07	0,00
U1M30	jun/19	-	-	-
	MÍNIMO	0,07	0,35	0,00
	MÁXIMO	21,53	110,91	0,07
	MÉDIA	5,60	35,29	0,02
	DESV. PAD.	5,30	27,02	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO E – VARIAÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 2 – MODELO C

Tabela 58: Variação volume e preço da unidade 2 – modelo C

DMU	Mês/Ano	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
U2M1	jan/17	0,66	63,50	0,04
U2M2	fev/17	0,87	66,22	0,04
U2M3	mar/17	0,55	4,20	0,00
U2M4	abr/17	1,12	85,75	0,04
U2M5	mai/17	1,31	42,37	0,03
U2M6	jun/17	0,05	26,76	0,02
U2M7	jul/17	2,09	43,69	0,06
U2M8	ago/17	11,75	32,47	0,09
U2M9	set/17	6,39	32,47	0,14
U2M10	out/17	2,08	25,35	0,01
U2M11	nov/17	1,71	42,94	0,10
U2M12	dez/17	2,32	4,01	0,11
U2M13	jan/18	3,85	4,01	0,10
U2M14	fev/18	5,73	19,75	0,02
U2M15	mar/18	4,53	20,85	0,04
U2M16	abr/18	3,10	8,01	0,02
U2M17	mai/18	2,09	8,01	0,01
U2M18	jun/18	1,95	7,85	0,01
U2M19	jul/18	1,04	0,90	0,02
U2M20	ago/18	1,83	1,97	0,03
U2M21	set/18	2,14	1,97	0,08
U2M22	out/18	5,14	17,40	0,00
U2M23	nov/18	4,36	13,02	0,01
U2M24	dez/18	3,43	3,28	0,06
U2M25	jan/19	0,05	1,16	0,01
U2M26	fev/19	4,24	6,98	0,05
U2M27	mar/19	0,82	6,98	0,07
U2M28	abr/19	2,21	0,39	0,10
U2M29	mai/19	4,65	4,39	0,13
U2M30	jun/19	-	-	-
	MÍNIMO	0,05	0,39	0,00
	MÁXIMO	11,75	85,75	0,14
	MÉDIA	2,83	20,57	0,05
	DESV. PAD.	2,43	22,51	0,04

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO F – VARIÇÃO ENTRE PERÍODOS DA UNIDADE 3 – MODELO D

Tabela 59: Variação volume e preço da unidade 3 – modelo D

DMU	Mês/Ano	Faturamento (FAT)	Volume (PRS)	Preço Médio (PM)
U3M1	jan/17	5,82	44,05	0,00
U3M2	fev/17	6,80	60,05	0,01
U3M3	mar/17	4,72	51,09	0,01
U3M4	abr/17	7,12	46,54	0,00
U3M5	mai/17	7,71	58,88	0,00
U3M6	jun/17	9,28	73,56	0,00
U3M7	jul/17	13,29	109,73	0,01
U3M8	ago/17	1,63	31,26	0,01
U3M9	set/17	5,38	62,85	0,01
U3M10	out/17	3,63	50,41	0,01
U3M11	nov/17	0,45	10,06	0,01
U3M12	dez/17	7,44	64,16	0,01
U3M13	jan/18	15,69	84,74	0,01
U3M14	fev/18	11,55	45,18	0,02
U3M15	mar/18	3,82	27,22	0,00
U3M16	abr/18	1,44	12,19	0,01
U3M17	mai/18	5,08	9,67	0,02
U3M18	jun/18	14,64	128,72	0,02
U3M19	jul/18	8,38	4,11	0,02
U3M20	ago/18	8,84	11,06	0,02
U3M21	set/18	4,95	0,35	0,01
U3M22	out/18	12,45	80,36	0,01
U3M23	nov/18	3,99	8,52	0,01
U3M24	dez/18	4,45	8,52	0,01
U3M25	jan/19	14,80	115,85	0,01
U3M26	fev/19	10,46	97,03	0,01
U3M27	mar/19	0,22	11,00	0,01
U3M28	abr/19	3,09	31,39	0,00
U3M29	mai/19	11,86	66,23	0,01
U3M30	jun/19	-	-	-
	MÍNIMO	0,22	0,35	0,00
	MÁXIMO	15,69	128,72	0,02
	MÉDIA	7,21	48,44	0,01
	DESV. PAD.	4,43	36,22	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO G – VARIACÃO DOS *INPUTS* DA UNIDADE 4 – MODELO A

Tabela 60: Variação do volume dos *inputs* da unidade 4 – modelo A

UNIDADE 4	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U4M1	0,03	0,02	0,08	1,25	0,52	70,17	2,18	31,50	166,07	10,58
U4M2	0,02	0,00	0,01	2,08	0,12	65,20	3,60	16,90	23,10	0,38
U4M3	0,01	0,00	0,02	2,03	0,68	156,17	2,79	24,59	83,26	5,74
U4M4	0,02	0,01	0,05	0,02	0,24	105,72	3,02	20,20	82,29	11,63
U4M5	0,02	0,00	0,00	0,45	0,47	82,01	2,51	25,44	95,18	11,26
U4M6	0,02	0,00	0,00	0,27	0,06	41,46	5,05	6,15	19,11	7,79
U4M7	0,01	0,00	0,01	0,33	0,45	48,49	1,06	27,55	72,61	7,88
U4M8	0,04	0,00	0,00	0,17	0,73	90,98	1,53	40,42	108,04	14,53
U4M9	0,03	0,00	0,01	0,69	0,01	12,63	2,79	12,68	62,77	1,62
U4M10	0,02	0,01	0,03	0,02	0,08	94,62	0,29	7,13	20,99	0,10
U4M11	0,01	0,01	0,05	0,32	0,13	87,40	1,99	21,79	74,14	4,37
U4M12	0,00	0,01	0,04	2,16	0,72	58,85	1,03	7,43	25,30	0,82
U4M13	0,01	0,05	0,22	1,54	0,28	26,12	1,41	8,91	56,15	1,28
U4M14	0,03	0,02	0,08	1,09	0,16	2,92	3,85	24,59	91,60	11,59
U4M15	0,03	0,00	0,02	0,40	0,75	19,62	1,17	22,20	69,79	8,14
U4M16	0,04	0,01	0,04	0,79	0,33	43,53	2,68	14,43	41,22	4,77
U4M17	0,03	0,01	0,05	0,38	0,10	34,59	2,11	15,39	58,05	6,27
U4M18	0,00	0,00	0,00	0,82	0,63	23,05	0,84	1,64	2,38	1,06
U4M19	0,00	0,00	0,01	1,64	0,14	60,08	1,88	9,94	40,96	2,89
U4M20	0,01	0,00	0,01	3,29	0,32	91,78	0,58	14,67	47,86	5,55
U4M21	0,12	0,03	0,13	0,31	0,18	58,12	0,33	0,58	3,11	1,08
U4M22	0,00	0,00	0,02	0,12	0,19	29,27	0,88	8,80	16,05	0,60
U4M23	0,01	0,01	0,05	0,11	0,19	16,23	0,50	3,41	18,99	2,38
U4M24	0,00	0,01	0,04	0,15	0,22	12,32	1,23	0,14	6,17	0,58
U4M25	0,01	0,01	0,03	0,41	0,24	21,46	2,33	15,35	66,37	5,33
U4M26	0,04	0,00	0,02	0,03	0,05	7,32	2,29	15,30	73,09	3,75
U4M27	0,00	0,01	0,03	0,36	0,18	23,98	0,57	12,51	85,80	6,33
U4M28	0,03	0,02	0,09	0,13	0,42	32,77	0,29	8,32	24,89	0,27
U4M29	0,33	0,08	0,40	0,02	0,19	60,50	1,11	5,40	35,33	0,03
U4M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 61: Variação dos preços dos *inputs* da unidade 4 – modelo A

UNIDADE 4	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U4M1	0,0111	0,0204	0,0009	0,0007	0,0020	0,0003	0,0014	0,0006	0,0003	0,0004
U4M2	0,0029	0,0027	0,0000	0,0009	0,0335	0,0002	0,0009	0,0009	0,0001	0,0012
U4M3	0,0050	0,0108	0,0001	0,0031	0,0488	0,0001	0,0006	0,0001	0,0013	0,0004
U4M4	0,0211	0,0889	0,0004	0,0004	0,0064	0,0002	0,0025	0,0014	0,0022	0,0020
U4M5	0,0182	0,0342	0,0003	0,0030	0,0338	0,0001	0,0000	0,0026	0,0012	0,0001
U4M6	0,0123	0,0509	0,0003	0,0009	0,0379	0,0000	0,0045	0,0016	0,0028	0,0014
U4M7	0,0137	0,0420	0,0003	0,0007	0,0142	0,0000	0,0060	0,0003	0,0040	0,0012
U4M8	0,0015	0,0202	0,0001	0,0021	0,0583	0,0000	0,0039	0,0019	0,0047	0,0014
U4M9	0,0081	0,0485	0,0001	0,0026	0,0735	0,0000	0,0047	0,0001	0,0003	0,0015
U4M10	0,0029	0,0058	0,0001	0,0033	0,0688	0,0000	0,0023	0,0005	0,0023	0,0046
U4M11	0,0102	0,0041	0,0001	0,0015	0,0716	0,0000	0,0008	0,0003	0,0005	0,0022
U4M12	0,0308	0,0059	0,0012	0,0026	0,0671	0,0000	0,0019	0,0014	0,0118	0,0034
U4M13	0,0139	0,0439	0,0002	0,0006	0,0453	0,0000	0,0059	0,0007	0,0013	0,0006
U4M14	0,0010	0,0004	0,0000	0,0018	0,0227	0,0000	0,0022	0,0018	0,0067	0,0015
U4M15	0,0114	0,0202	0,0001	0,0008	0,0750	0,0000	0,0082	0,0003	0,0005	0,0002
U4M16	0,0103	0,0445	0,0002	0,0004	0,0570	0,0001	0,0043	0,0018	0,0098	0,0006
U4M17	0,0271	0,0644	0,0001	0,0118	0,1364	0,0000	0,0006	0,0024	0,0017	0,0018
U4M18	0,0364	0,0539	0,0003	0,0068	0,0232	0,0000	0,0013	0,0002	0,0142	0,0015
U4M19	0,0097	0,0187	0,0002	0,0045	0,0804	0,0000	0,0024	0,0019	0,0024	0,0012
U4M20	0,0130	0,0317	0,0012	0,0149	0,0381	0,0000	0,0093	0,0007	0,0132	0,0004
U4M21	0,0262	0,0352	0,0014	0,0165	0,0575	0,0000	0,0095	0,0002	0,0007	0,0003
U4M22	0,0144	0,0004	0,0024	0,0026	0,1757	0,0000	0,0030	0,0006	0,0016	0,0013
U4M23	0,0397	0,0556	0,0001	0,0068	0,1071	0,0001	0,0051	0,0002	0,0014	0,0000
U4M24	0,0524	0,0828	0,0010	0,0046	0,0052	0,0000	0,0031	0,0009	0,0014	0,0010
U4M25	0,0001	0,0109	0,0000	0,0014	0,0450	0,0001	0,0007	0,0015	0,0013	0,0003
U4M26	0,0006	0,0374	0,0007	0,0407	0,0302	0,0000	0,0081	0,0025	0,0002	0,0001
U4M27	0,0003	0,0072	0,0007	0,0396	0,0653	0,0000	0,0043	0,0020	0,0011	0,0017
U4M28	0,0002	0,0181	0,0011	0,0018	0,0984	0,0000	0,0023	0,0007	0,0021	0,0007
U4M29	0,0009	0,0186	0,0020	0,0001	0,0144	0,0001	0,0014	0,0008	0,0089	0,0007
U4M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO H – VARIAÇÃO DOS *INPUTS* DA UNIDADE 5 – MODELO A

Tabela 62: Variação do volume dos *inputs* da unidade 5 – modelo A

UNIDADE 5	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U5M1	0,01	0,02	0,18	2,53	0,29	112,63	0,86	1,66	16,11	1,27
U5M2	0,02	0,01	0,17	4,17	0,32	46,83	1,03	3,93	22,65	3,70
U5M3	0,03	0,00	0,04	0,58	0,19	120,44	1,94	6,83	40,84	3,21
U5M4	0,02	0,02	1,90	0,15	0,25	68,41	2,18	27,15	136,67	11,31
U5M5	0,00	0,01	1,40	1,23	0,15	13,23	3,48	18,34	97,62	8,64
U5M6	0,00	0,00	0,09	0,85	0,18	15,95	3,87	7,31	9,86	0,97
U5M7	0,01	0,01	1,11	0,38	0,14	67,62	3,26	6,87	48,48	2,06
U5M8	0,04	0,01	0,35	0,72	0,27	46,20	4,46	12,54	56,25	6,07
U5M9	0,04	0,01	0,84	1,55	0,41	3,22	0,13	19,62	82,74	5,31
U5M10	0,01	0,01	0,76	2,04	0,43	18,34	1,32	7,30	4,51	0,53
U5M11	0,01	0,01	0,23	0,57	0,19	90,44	6,13	7,19	20,26	2,92
U5M12	0,02	0,03	1,54	0,46	0,35	43,11	2,38	6,22	35,01	2,70
U5M13	0,02	0,01	1,08	1,90	0,32	22,06	0,75	4,55	5,62	1,45
U5M14	0,02	0,04	0,02	1,34	0,13	39,90	0,14	14,33	60,99	5,38
U5M15	0,02	0,01	0,02	0,17	0,02	6,83	0,32	10,03	51,69	3,99
U5M16	0,01	0,01	0,27	0,07	0,32	33,45	2,07	4,61	9,75	1,00
U5M17	0,03	0,01	0,20	0,20	0,26	2,27	1,24	5,78	26,79	2,03
U5M18	0,01	0,00	0,02	0,23	0,04	21,05	1,24	0,59	5,98	2,91
U5M19	0,03	0,03	0,02	2,20	0,02	66,86	3,13	27,44	11,35	6,33
U5M20	0,01	0,00	0,67	0,13	0,13	124,77	3,20	26,50	4,80	8,79
U5M21	0,13	0,04	1,26	0,08	0,08	43,82	1,14	25,57	134,81	10,38
U5M22	0,03	0,02	0,25	0,67	0,04	13,23	2,78	14,61	89,13	5,99
U5M23	0,04	0,02	0,20	0,48	0,05	48,39	4,31	24,29	124,37	9,93
U5M24	0,04	0,02	0,29	0,32	0,09	104,12	0,85	25,32	118,38	10,21
U5M25	0,00	0,01	0,37	0,89	0,04	50,08	0,83	23,39	83,70	3,67
U5M26	0,00	0,00	0,48	0,63	0,78	14,85	1,90	7,29	29,42	3,44
U5M27	0,00	0,00	0,10	0,47	0,37	29,38	0,62	7,02	43,53	2,29
U5M28	0,01	0,00	0,10	0,26	0,19	47,68	1,17	1,52	27,46	2,07
U5M29	0,02	0,05	0,14	0,23	0,30	32,78	2,93	8,84	34,80	0,05
U5M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 63: Variação dos preços dos *inputs* da unidade 5 – modelo A

UNIDADE 5	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U5M1	0,0110	0,0119	0,0001	0,0020	0,0031	0,0001	0,0005	0,0040	0,0093	0,0016
U5M2	0,0001	0,0128	0,0007	0,0019	0,1993	0,0000	0,0013	0,0013	0,0003	0,0030
U5M3	0,0013	0,0100	0,0000	0,0025	0,0436	0,0002	0,0001	0,0028	0,0106	0,0012
U5M4	0,0188	0,0003	0,0000	0,0002	0,0253	0,0001	0,0010	0,0044	0,0106	0,0044
U5M5	0,0155	0,0264	0,0002	0,0047	0,0659	0,0002	0,0018	0,0050	0,0045	0,0019
U5M6	0,0125	0,0178	0,0015	0,0083	0,0385	0,0001	0,0011	0,0055	0,0003	0,0040
U5M7	0,0127	0,0318	0,0000	0,0015	0,0962	0,0001	0,0004	0,0044	0,0003	0,0035
U5M8	0,0011	0,0100	0,0002	0,0054	0,1091	0,0001	0,0003	0,0009	0,0000	0,0007
U5M9	0,0074	0,0069	0,0003	0,0041	0,0134	0,0000	0,0004	0,0017	0,0002	0,0014
U5M10	0,0033	0,0071	0,0005	0,0044	0,0908	0,0000	0,0003	0,0017	0,0001	0,0011
U5M11	0,0086	0,0481	0,0013	0,0041	0,1326	0,0000	0,0026	0,0006	0,0002	0,0035
U5M12	0,0076	0,0563	0,0006	0,0116	0,0150	0,0000	0,0014	0,0012	0,0004	0,0011
U5M13	0,0095	0,0214	0,0004	0,0065	0,0556	0,0000	0,0045	0,0032	0,0004	0,0006
U5M14	0,0008	0,0392	0,0005	0,0320	0,0121	0,0000	0,0043	0,0037	0,0000	0,0026
U5M15	0,0112	0,0180	0,0002	0,0316	0,0127	0,0000	0,0027	0,0009	0,0003	0,0006
U5M16	0,0104	0,0069	0,0004	0,0035	0,0435	0,0000	0,0031	0,0016	0,0003	0,0032
U5M17	0,0249	0,0002	0,0011	0,0036	0,0244	0,0001	0,0022	0,0038	0,0006	0,0004
U5M18	0,0331	0,0394	0,0061	0,0121	0,0085	0,0000	0,0021	0,0003	0,0009	0,0050
U5M19	0,0090	0,0413	0,0005	0,0108	0,0221	0,0000	0,0090	0,0019	0,0012	0,0010
U5M20	0,0124	0,0005	0,0001	0,0066	0,0038	0,0002	0,0060	0,0106	0,0001	0,0105
U5M21	0,0260	0,0213	0,0004	0,0070	0,0423	0,0001	0,0081	0,0018	0,0196	0,0041
U5M22	0,0152	0,0608	0,0005	0,0098	0,0178	0,0001	0,0005	0,0036	0,0195	0,0003
U5M23	0,0075	0,0339	0,0002	0,0201	0,0804	0,0001	0,0032	0,0019	0,0188	0,0018
U5M24	0,0941	0,2528	0,0071	0,0326	0,0788	0,0001	0,0016	0,0050	0,0194	0,0010
U5M25	0,0005	0,0213	0,0022	0,0015	0,0438	0,0000	0,0055	0,0023	0,0203	0,0019
U5M26	0,0039	0,0192	0,0023	0,0025	0,0048	0,0000	0,0061	0,0028	0,0137	0,0018
U5M27	0,0006	0,0468	0,0030	0,0026	0,0432	0,0000	0,0036	0,0015	0,0173	0,0025
U5M28	0,0005	0,0263	0,0024	0,0007	0,0057	0,0000	0,0050	0,0016	0,0115	0,0010
U5M29	0,0003	0,0502	0,0001	0,0012	0,0402	0,0001	0,0014	0,0020	0,0077	0,0015
U5M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO I – VARIAÇÃO DOS *INPUTS* DA UNIDADE 1 – MODELO B

Tabela 64: Variação do volume dos *inputs* da unidade 1 – modelo B

UNIDADE 1	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U1M1	0,00	0,00	24,34	6,16	0,28	77,09	5,66	3,61	129,78	8,56
U1M2	0,01	0,01	1,54	1,68	0,14	29,17	2,86	3,01	73,30	5,59
U1M3	0,02	0,00	9,03	3,09	0,12	24,84	5,05	4,23	8,29	37,39
U1M4	0,02	0,03	2,92	1,32	0,15	47,85	2,26	0,66	7,73	35,12
U1M5	0,01	0,01	0,96	2,11	0,07	185,75	3,76	9,31	51,16	12,60
U1M6	0,02	0,02	0,96	3,38	0,04	104,12	1,77	8,15	24,95	2,85
U1M7	0,00	0,00	1,98	0,29	0,03	4,05	0,73	0,35	9,31	1,29
U1M8	0,02	0,00	7,77	5,43	0,07	19,83	0,57	3,41	22,37	11,73
U1M9	0,04	0,01	7,77	1,28	0,01	20,45	0,22	2,23	44,81	5,67
U1M10	0,01	0,00	2,46	1,28	0,01	0,22	0,22	2,23	44,81	5,67
U1M11	0,04	0,01	2,46	0,43	0,04	5,32	0,39	4,42	55,64	12,38
U1M12	0,01	0,00	1,22	0,54	0,00	0,09	0,02	0,62	4,18	1,88
U1M13	0,02	0,06	6,96	3,87	0,14	14,75	2,14	4,29	31,08	5,44
U1M14	0,00	0,00	3,85	0,01	0,15	2,19	1,71	9,18	15,60	8,34
U1M15	0,01	0,00	7,47	0,52	0,01	37,60	0,31	0,52	53,68	2,59
U1M16	0,01	0,00	1,22	0,59	0,11	3,50	1,76	4,48	26,93	16,42
U1M17	0,02	0,00	3,91	0,10	0,01	8,89	4,19	6,25	49,07	11,16
U1M18	0,01	0,00	6,76	0,31	0,08	16,01	1,78	8,24	32,18	11,16
U1M19	0,02	0,00	3,40	0,04	0,02	6,43	3,49	14,00	39,14	13,65
U1M20	0,16	0,04	0,95	0,11	0,17	57,05	1,55	5,31	35,06	16,24
U1M21	0,05	0,03	0,95	0,41	0,16	39,73	2,67	10,53	17,82	5,28
U1M22	0,01	0,03	0,46	0,07	0,11	18,82	0,38	3,94	17,82	5,28
U1M23	0,01	0,01	1,44	0,04	0,01	6,05	0,42	1,58	8,36	14,48
U1M24	0,01	0,01	0,93	0,31	0,07	16,17	1,19	4,98	11,59	3,71
U1M25	0,04	0,00	0,56	0,63	0,01	25,61	1,18	9,19	24,30	3,71
U1M26	0,00	0,00	0,06	0,21	0,05	2,11	1,14	11,47	39,36	5,87
U1M27	0,02	0,00	0,06	0,14	0,05	14,32	3,48	0,38	48,78	3,09
U1M28	0,00	0,00	0,11	0,28	0,18	39,49	1,25	0,09	16,57	3,09
U1M29	0,05	0,02	0,00	0,53	0,00	49,50	0,99	1,98	26,05	0,20
U1M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 65: Variação dos preços dos *inputs* da unidade 1 – modelo B

UNIDADE 1	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U1M1	0,0109	0,0197	0,0001	0,0001	0,2777	0,0001	0,0003	0,0013	0,0286	0,0234
U1M2	0,0006	0,1122	0,0000	0,0012	0,0987	0,0000	0,0042	0,0014	0,0109	0,0047
U1M3	0,0006	0,0208	0,0000	0,0017	0,0150	0,0001	0,0036	0,0011	0,0123	0,0558
U1M4	0,0192	0,0487	0,0002	0,0002	0,1485	0,0001	0,0009	0,0017	0,0036	0,0243
U1M5	0,0161	0,0170	0,0001	0,0002	0,0947	0,0001	0,0010	0,0014	0,0058	0,0388
U1M6	0,0111	0,0395	0,0001	0,0009	0,1604	0,0000	0,0016	0,0008	0,0021	0,0030
U1M7	0,0124	0,0012	0,0001	0,0001	0,0010	0,0000	0,0005	0,0003	0,0014	0,0071
U1M8	0,0009	0,0700	0,0012	0,0037	0,0616	0,0001	0,0069	0,0018	0,0164	0,0184
U1M9	0,0081	0,0041	0,0003	0,0025	0,0403	0,0000	0,0069	0,0021	0,0058	0,0038
U1M10	0,0033	0,0011	0,0004	0,0032	0,0235	0,0000	0,0004	0,0089	0,0105	0,0250
U1M11	0,0093	0,0056	0,0007	0,0027	0,0232	0,0001	0,0022	0,0073	0,0006	0,0080
U1M12	0,0151	0,0315	0,0000	0,0002	0,0010	0,0000	0,0014	0,0005	0,0026	0,0016
U1M13	0,0335	0,0207	0,0065	0,0060	0,1644	0,0001	0,0114	0,0038	0,0189	0,0232
U1M14	0,0014	0,0001	0,0011	0,0055	0,0820	0,0000	0,0076	0,0028	0,0058	0,0093
U1M15	0,0113	0,0126	0,0002	0,0010	0,0289	0,0000	0,0033	0,0127	0,0117	0,0116
U1M16	0,0101	0,0047	0,0003	0,0006	0,0985	0,0000	0,0052	0,0181	0,0162	0,0037
U1M17	0,0246	0,0679	0,0008	0,0071	0,1316	0,0000	0,0092	0,0296	0,0008	0,0105
U1M18	0,0327	0,0484	0,0009	0,0048	0,1065	0,0000	0,0016	0,0003	0,0037	0,0029
U1M19	0,0089	0,0159	0,0004	0,0091	0,1625	0,0000	0,0001	0,0018	0,0051	0,0095
U1M20	0,0144	0,0407	0,0006	0,0031	0,0350	0,0000	0,0036	0,0013	0,0076	0,0009
U1M21	0,0265	0,0561	0,0002	0,0032	0,1221	0,0000	0,0010	0,0007	0,0106	0,0089
U1M22	0,0139	0,0168	0,0001	0,0015	0,0580	0,0000	0,0036	0,0022	0,0005	0,0005
U1M23	0,0465	0,0526	0,0038	0,0124	0,0647	0,0001	0,0037	0,0012	0,0014	0,0010
U1M24	0,0587	0,0916	0,0039	0,0114	0,0270	0,0001	0,0029	0,0002	0,0007	0,0011
U1M25	0,0004	0,0041	0,0005	0,0002	0,1342	0,0000	0,0007	0,0004	0,0023	0,0020
U1M26	0,0029	0,0026	0,0005	0,0004	0,0728	0,0000	0,0034	0,0022	0,0034	0,0039
U1M27	0,0001	0,0130	0,0005	0,0011	0,0469	0,0000	0,0048	0,0029	0,0038	0,0034
U1M28	0,0002	0,0031	0,0001	0,0034	0,0444	0,0000	0,0338	0,0005	0,0171	0,0041
U1M29	0,0002	0,0146	0,0003	0,0068	0,0945	0,0000	0,0227	0,0019	0,0160	0,0385
U1M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO J – VARIAÇÃO DOS *INPUTS* DA UNIDADE 2 – MODELO C

Tabela 66: Variação do volume dos *inputs* da unidade 2 – modelo C

UNIDADE 2	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U2M1	0,07	0,01	0,00	0,03	0,01	38,93	0,09	0,02	0,68	2,63
U2M2	0,01	0,00	0,00	0,35	0,10	33,72	0,09	0,05	0,88	3,14
U2M3	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	126,23	0,16	0,14	0,28	5,17
U2M4	0,00	0,00	0,02	0,04	0,06	25,30	0,48	0,14	3,20	1,94
U2M5	0,01	0,01	0,03	0,09	0,08	40,47	0,48	0,14	5,55	2,62
U2M6	0,02	0,00	0,00	0,38	0,02	49,91	0,75	0,70	1,51	2,24
U2M7	0,01	0,00	0,08	0,22	0,08	6,39	1,06	0,20	1,51	0,86
U2M8	0,03	0,01	0,16	0,18	0,05	21,43	0,22	0,20	11,96	2,23
U2M9	0,01	0,02	0,07	0,09	0,10	36,85	0,22	1,11	6,72	0,69
U2M10	0,02	0,01	0,33	0,02	0,07	10,91	0,11	0,50	6,72	4,79
U2M11	0,01	0,08	0,88	0,01	0,01	6,21	1,01	0,24	10,82	5,47
U2M12	0,01	0,01	0,77	0,08	0,06	73,39	0,61	0,36	3,93	0,64
U2M13	0,09	0,01	1,09	0,12	0,03	38,51	0,61	0,36	10,41	5,20
U2M14	0,01	0,01	1,69	0,01	0,02	40,87	0,32	0,43	1,79	1,27
U2M15	0,00	0,01	1,42	0,29	0,05	3,87	0,32	0,43	1,79	1,90
U2M16	0,04	0,03	1,42	0,07	0,10	27,51	1,76	0,22	10,15	2,34
U2M17	0,03	0,04	0,90	0,07	0,05	17,52	1,09	0,22	22,63	4,19
U2M18	0,01	0,01	0,90	0,08	0,16	37,40	0,05	0,30	3,81	2,54
U2M19	0,01	0,00	1,34	0,59	0,06	18,71	0,67	0,55	6,83	7,71
U2M20	0,01	0,00	0,22	0,20	0,08	87,08	0,30	1,51	8,12	5,55
U2M21	0,01	0,01	0,85	0,05	0,04	135,68	0,25	0,39	16,08	9,56
U2M22	0,02	0,01	0,85	0,43	0,21	40,84	0,25	0,39	8,42	10,68
U2M23	0,01	0,01	1,34	0,08	0,15	65,30	0,25	1,55	12,02	1,10
U2M24	0,00	0,02	0,43	0,52	0,03	129,02	0,19	1,24	2,54	6,15
U2M25	0,01	0,01	0,43	1,05	0,06	73,58	0,17	0,24	3,33	5,42
U2M26	0,02	0,02	2,11	0,97	0,12	45,99	1,27	0,82	17,38	3,02
U2M27	0,01	0,01	1,55	0,07	0,10	3,52	0,14	0,07	0,30	0,09
U2M28	0,01	0,01	0,33	0,37	0,02	11,71	0,07	0,07	6,60	0,80
U2M29	0,06	0,07	0,30	0,01	0,08	69,13	0,60	0,53	2,95	2,72
U2M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 67: Variação dos preços dos *inputs* da unidade 2 – modelo C

UNIDADE 2	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U2M1	0,0361	0,0469	0,0011	0,0044	1,2353	0,0000	0,0032	0,0004	0,0024	0,0013
U2M2	0,0208	0,0822	0,0007	0,0018	1,5243	0,0000	0,0000	0,0011	0,0020	0,0012
U2M3	0,0061	0,0072	0,0013	0,0008	0,0703	0,0000	0,0008	0,0014	0,0001	0,0030
U2M4	0,0399	0,1200	0,0010	0,0008	0,0712	0,0000	0,0025	0,0016	0,0038	0,0046
U2M5	0,0282	0,0725	0,0015	0,0015	0,1136	0,0000	0,0020	0,0005	0,0059	0,0006
U2M6	0,0151	0,0877	0,0020	0,0146	0,2907	0,0001	0,0025	0,0008	0,0279	0,0012
U2M7	0,0950	0,3302	0,0004	0,0174	0,4619	0,0001	0,0008	0,0004	0,0225	0,0010
U2M8	0,0143	0,1896	0,0003	0,0006	0,3052	0,0000	0,0020	0,0008	0,0012	0,0011
U2M9	0,0126	0,0324	0,0003	0,0037	0,0720	0,0000	0,0075	0,0003	0,0088	0,0008
U2M10	0,0147	0,0376	0,0002	0,0013	0,2567	0,0000	0,0021	0,0006	0,0008	0,0010
U2M11	0,0100	0,1224	0,0001	0,0023	0,0494	0,0001	0,0117	0,0015	0,0085	0,0002
U2M12	0,0225	0,0643	0,0071	0,0168	0,5053	0,0001	0,0009	0,0003	0,0008	0,0009
U2M13	0,0607	0,1269	0,0001	0,0025	0,1959	0,0000	0,0024	0,0008	0,0031	0,0001
U2M14	0,0132	0,1242	0,0002	0,0193	0,2737	0,0000	0,0039	0,0009	0,0017	0,0005
U2M15	0,0210	0,1072	0,0006	0,0069	0,1508	0,0000	0,0009	0,0008	0,0372	0,0019
U2M16	0,0283	0,1517	0,0002	0,0154	0,2512	0,0002	0,0004	0,0011	0,0439	0,0010
U2M17	0,0466	0,3805	0,0003	0,0033	0,0915	0,0000	0,0008	0,0013	0,0243	0,0002
U2M18	0,0496	0,2075	0,0004	0,0162	0,0056	0,0001	0,0035	0,0014	0,0689	0,0008
U2M19	0,0888	0,1717	0,0003	0,0059	0,4684	0,0001	0,0007	0,0017	0,0362	0,0015
U2M20	0,0241	0,0645	0,0014	0,0178	0,2403	0,0000	0,0017	0,0008	0,0264	0,0005
U2M21	0,0508	0,1279	0,0005	0,0048	0,3604	0,0001	0,0010	0,0010	0,0284	0,0002
U2M22	0,0192	0,0366	0,0003	0,0077	0,3797	0,0001	0,0030	0,0027	0,0097	0,0014
U2M23	0,0158	0,0045	0,0001	0,0074	0,0986	0,0000	0,0052	0,0021	0,0009	0,0013
U2M24	0,0338	0,0201	0,0075	0,0266	0,0851	0,0003	0,0006	0,0010	0,0006	0,0006
U2M25	0,0037	0,0315	0,0002	0,0038	0,0451	0,0000	0,0003	0,0001	0,0355	0,0003
U2M26	0,0041	0,0888	0,0002	0,0075	0,0594	0,0000	0,0024	0,0012	0,0613	0,0023
U2M27	0,0039	0,1460	0,0006	0,0084	0,0595	0,0001	0,0004	0,0014	0,0357	0,0000
U2M28	0,0024	0,0141	0,0002	0,0020	0,1433	0,0000	0,0036	0,0005	0,0113	0,0003
U2M29	0,0034	0,0179	0,0006	0,0134	0,1194	0,0001	0,0046	0,0008	0,0334	0,0002
U2M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

ANEXO L – VARIÇÃO DOS *INPUTS* DA UNIDADE 3 – MODELO D

Tabela 68: Variação do volume dos *inputs* da unidade 3 – modelo D

UNIDADE 3	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U3M1	0,00	0,01	0,01	0,46	0,24	31,11	2,72	19,54	70,58	8,80
U3M2	0,01	0,01	0,02	0,96	0,08	126,41	0,69	2,84	16,84	1,58
U3M3	0,01	0,01	0,01	0,04	0,22	218,65	0,28	3,19	12,27	1,83
U3M4	0,00	0,01	0,16	1,01	0,59	47,21	1,47	12,58	57,41	6,25
U3M5	0,03	0,02	0,57	0,18	0,65	56,33	1,44	9,96	48,82	4,21
U3M6	0,02	0,01	0,11	0,90	0,02	4,00	0,21	5,62	34,23	2,45
U3M7	0,01	0,00	1,99	0,18	0,23	35,01	1,45	5,54	38,21	4,05
U3M8	0,05	0,01	0,22	0,83	0,13	37,26	3,37	4,23	6,92	0,94
U3M9	0,05	0,01	0,22	0,15	0,18	53,25	2,36	0,21	24,56	0,95
U3M10	0,00	0,00	0,72	2,17	0,10	20,06	2,55	2,76	29,61	4,99
U3M11	0,01	0,03	0,72	3,25	0,07	7,91	1,94	6,70	35,83	8,31
U3M12	0,01	0,02	0,72	1,52	0,32	49,95	1,54	1,12	7,62	1,53
U3M13	0,07	0,03	0,24	0,11	0,23	69,89	6,25	12,08	70,09	11,72
U3M14	0,09	0,08	0,08	0,04	0,07	0,51	6,24	12,70	44,48	5,92
U3M15	0,00	0,00	0,13	0,07	0,06	21,17	4,26	3,76	4,81	8,37
U3M16	0,00	0,00	0,06	0,34	0,06	28,99	5,17	7,01	12,41	21,49
U3M17	0,00	0,00	0,00	0,35	0,04	68,35	7,92	8,57	10,24	0,20
U3M18	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	37,82	6,84	11,33	105,54	16,55
U3M19	0,08	0,01	0,02	1,28	0,08	45,08	1,49	8,95	19,65	30,69
U3M20	0,00	0,01	0,02	1,05	0,21	78,28	5,46	2,58	16,24	7,97
U3M21	0,00	0,04	0,01	0,12	0,02	54,06	4,38	3,97	0,80	7,84
U3M22	0,02	0,00	0,41	0,01	0,22	88,60	1,38	10,96	62,27	23,91
U3M23	0,01	0,00	0,49	0,09	0,11	64,28	0,52	2,49	0,37	3,82
U3M24	0,01	0,00	0,49	0,09	0,11	64,28	0,52	2,49	0,37	3,82
U3M25	0,00	0,01	0,74	0,00	0,15	104,36	3,89	20,38	60,76	38,83
U3M26	0,01	0,01	0,08	0,35	0,00	16,42	3,27	8,20	12,21	40,84
U3M27	0,01	0,01	1,56	0,23	0,24	3,32	2,73	8,70	36,04	7,78
U3M28	0,00	0,01	1,01	0,11	0,25	258,95	2,56	4,52	48,35	2,09
U3M29	0,08	0,07	0,16	0,09	0,05	278,80	2,01	20,06	101,38	32,45
U3M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 69: Variação dos preços dos *inputs* da unidade 3 – modelo D

UNIDADE 3	Número de MO Direta	Número MO Indireta	Número de HE Diretos	Número de HE Indiretos	Número de Retrabalhos	Energia Elétrica (kWH)	Couro (m2)	Forro (m2)	Sola (m2)	Tecido (m2)
U3M1	0,0108	0,0022	0,0002	0,0044	0,0275	0,0000	0,0043	0,0013	0,0041	0,0015
U3M2	0,0012	0,0371	0,0001	0,0014	0,1972	0,0000	0,0006	0,0001	0,0019	0,0010
U3M3	0,0002	0,0502	0,0002	0,0029	0,0475	0,0004	0,0110	0,0023	0,0097	0,0026
U3M4	0,0197	0,0564	0,0006	0,0012	0,2582	0,0007	0,0106	0,0021	0,0031	0,0019
U3M5	0,0157	0,0459	0,0000	0,0001	0,0735	0,0002	0,0018	0,0028	0,0078	0,0012
U3M6	0,0117	0,0371	0,0002	0,0008	0,0702	0,0001	0,0078	0,0006	0,0029	0,0006
U3M7	0,0124	0,0232	0,0001	0,0013	0,0243	0,0000	0,0064	0,0012	0,0040	0,0020
U3M8	0,0015	0,0012	0,0002	0,0007	0,0015	0,0000	0,0038	0,0007	0,0071	0,0007
U3M9	0,0081	0,0217	0,0001	0,0021	0,0062	0,0000	0,0039	0,0007	0,0012	0,0019
U3M10	0,0036	0,0021	0,0001	0,0014	0,0083	0,0001	0,0031	0,0019	0,0043	0,0003
U3M11	0,0145	0,0381	0,0010	0,0028	0,0317	0,0001	0,0009	0,0006	0,0008	0,0004
U3M12	0,0080	0,0192	0,0045	0,0035	0,0162	0,0000	0,0003	0,0017	0,0010	0,0028
U3M13	0,0136	0,0143	0,0048	0,0009	0,0049	0,0000	0,0045	0,0026	0,0058	0,0029
U3M14	0,0016	0,1215	0,0013	0,0009	0,0536	0,0000	0,0032	0,0005	0,0009	0,0016
U3M15	0,0115	0,0137	0,0033	0,0047	0,0719	0,0000	0,0008	0,0022	0,0005	0,0006
U3M16	0,0101	0,0143	0,0012	0,0127	0,0503	0,0000	0,0090	0,0008	0,0051	0,0016
U3M17	0,0245	0,0150	0,0024	0,0046	0,1574	0,0000	0,0073	0,0002	0,0072	0,0025
U3M18	0,0333	0,0422	0,0017	0,0057	0,0585	0,0000	0,0044	0,0010	0,0060	0,0023
U3M19	0,0107	0,0307	0,0026	0,0051	0,0026	0,0000	0,0037	0,0002	0,0381	0,0006
U3M20	0,0124	0,0167	0,0001	0,0015	0,0503	0,0001	0,0033	0,0005	0,0064	0,0000
U3M21	0,0275	0,0017	0,0010	0,0032	0,0157	0,0000	0,0014	0,0007	0,0001	0,0019
U3M22	0,0128	0,0302	0,0013	0,0027	0,0657	0,0000	0,0043	0,0009	0,0017	0,0004
U3M23	0,0475	0,0301	0,0015	0,0049	0,0225	0,0001	0,0006	0,0000	0,0012	0,0019
U3M24	0,0587	0,0477	0,0014	0,0048	0,0238	0,0001	0,0012	0,0002	0,0016	0,0021
U3M25	0,0000	0,0177	0,0001	0,0010	0,0042	0,0000	0,0054	0,0007	0,0048	0,0042
U3M26	0,0007	0,0234	0,0002	0,0001	0,0023	0,0000	0,0017	0,0018	0,0063	0,0007
U3M27	0,0004	0,0059	0,0008	0,0042	0,0640	0,0000	0,0011	0,0021	0,0085	0,0023
U3M28	0,0000	0,0080	0,0006	0,0020	0,2401	0,0009	0,0046	0,0022	0,0025	0,0020
U3M29	0,0001	0,0675	0,0010	0,0077	0,0550	0,0009	0,0025	0,0024	0,0004	0,0014
U3M30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).