

ANÁLISE EXPLORATÓRIA PARA MEDIR A EFICIÊNCIA TÉCNICA DE UMA FERRAMENTARIA COM A APLICAÇÃO DA DEA (ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS)

EXPLORATORY ANALYSIS TO MEASURE THE INTERNAL EFFICIENCY OF A TOOL SHOP USING DEA (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

Bianca Fogaça Moretto*^{ID} E-mail: biancafmoretto@gmail.com

Yuri Dias Hamdan*^{ID} E-mail: yuridh@outlook.com

Fabio Antonio Sartori Piran*^{ID} E-mail: fpiran@unisin.br

*Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil.

Resumo: Este estudo tem como objetivo analisar a eficiência da ferramentaria de uma empresa do segmento metal mecânico, responsável pela fabricação de moldes para injeção de alumínio, plástico e magnésio, utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA). Foi realizado um estudo de caso longitudinal, em um período de 50 semanas, compreendido entre janeiro de 2021 e dezembro de 2021, utilizando a abordagem de benchmarking interno combinada com a análise de incidentes críticos. O modelo DEA utilizado foi o CRS orientado a output. Dentre os principais resultados, evidenciou-se que 14 unidades de tomada de decisão (DMU's), representando 28% do período, obtiveram o valor máximo de eficiência (100%) e a eficiência média do setor foi de 92%. Na análise de incidentes críticos foram identificados 8 eventos (7 internos e 1 externo) que afetaram ou contribuíram para os níveis observados de eficiência. Concluiu-se que a aplicação de benchmarking interno gerou autoconhecimento sobre o setor. Os indicadores de eficiência técnica calculados utilizando o modelamento DEA foram vistos positivamente pela gerência, como uma ferramenta de grande importância para tomadas de decisões.

Palavras-chave: Análise envoltória de dados. Eficiência. Incidente crítico. Ferramentaria. Benchmarking interno.

Abstract: This study aims to analyze the technical efficiency of a tool shop, responsible for manufacturing aluminum, plastic and magnesium injection molds, using Data Envelopment Analysis (DEA). A longitudinal case study was carried out over a period of 50 weeks, from January 2021 to December 2021, using the internal benchmarking approach combined with critical incident analysis. The DEA model used was the output-oriented CRS. Among the main results was that 14 decision-making unit (DMUs), representing 28% of the period, obtained the maximum efficiency value (100%) and the average efficiency of the sector was 92%. The analysis of critical incidents identified 8 events (7 internal and 1 external) that affected or contributed to the observed levels of efficiency. It was concluded that the application of internal benchmarking generated self-knowledge about the sector. The technical efficiency indicators calculated using DEA modeling were viewed positively by management, as a tool of great importance for decision-making.

Keywords: Data envelopment analysis. Efficiency. Critical incident. Tool shop. Internal Benchmarking.

1 INTRODUÇÃO

A competitividade das empresas, dos setores econômicos e dos países é afetada pela produtividade e pela eficiência que são indicadores relevantes e, que podem ser avaliados em diferentes escalas (DE SOUZA *et al.*, 2018). Em termos conceituais, a produtividade é a relação dos produtos produzidos e recursos consumidos. A eficiência pode ser definida como uma medida comparativa que demonstra a capacidade de aproveitamento dos recursos utilizados, ou seja, a relação do que foi produzido utilizando determinados recursos comparando com o máximo que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos (Cummins; Weiss, 2011).

Muitas organizações tendem a tratar a eficiência e produtividade como conceitos intercambiáveis, embora esses indicadores sejam distintos entre si (Barbosa *et al.*, 2017). É importante a utilização da análise global de eficiência e produtividade em uma organização para evitar tomadas de decisões equivocadas, como por exemplo, priorização de investimentos em recursos não críticos e falta de investimento nos recursos críticos (De Souza *et al.*, 2018). Na procura por melhores indicadores de eficiência, produtividade e menores custos, muitas organizações utilizam as práticas de *benchmarking* com o intuito de alcançar seus objetivos. *Benchmarking* é o método que identifica organizações ou setores mais competitivos dentro da própria empresa, comparam seus indicadores e, dessa maneira, aprendem entre si as práticas que os levarão a atingir os melhores resultados (Carnero, 2014). Esse método pode ser classificado em dois tipos: externo e interno. O *benchmarking* externo realiza comparações entre a empresa e outras organizações com o mesmo setor, enquanto o interno compara um setor da empresa com outros setores similares ou o mesmo setor de forma longitudinal (De Souza *et al.*, 2018).

Estudos anteriores têm explorado a *Data Envelopment Analysis* (DEA) juntamente com o *benchmark* interno. Por exemplo, para analisar a eficiência de custos em sistemas de produção de frango (Piran *et al.*, 2021), para avaliar a eficiência técnica de empresas do segmento metal mecânico (DE SOUZA *et al.*, 2018) e aeroespacial (Telles *et al.*, 2020). Nesse contexto, surge a oportunidade de analisar a eficiência técnica de uma ferramentaria, utilizando o *benchmark* interno e a técnica DEA em conjunto com análise de incidentes críticos.

Este estudo busca contribuir neste sentido, possuindo como objetivo analisar a eficiência da ferramentaria de uma empresa metal mecânica, responsável pela fabricação de moldes para injeção de alumínio, plástico e magnésio, utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA). Para cumprir o objetivo proposto é realizado um estudo de caso longitudinal, em um período de 50 semanas, compreendido entre janeiro de 2021 e dezembro de 2021, utilizando a abordagem de *benchmarking* interno combinada com a análise de incidentes críticos.

Este artigo está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo é a introdução, que explica de maneira geral a importância da eficiência, com foco no setor industrial. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico, onde serão discutidos o *benchmarking* e a técnica DEA. No terceiro capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no estudo. No quarto capítulo, é realizada a análise dos resultados obtidos. O quinto capítulo abrange as discussões dos resultados obtidos, tanto do ponto de vista acadêmico quanto empresarial. O sexto capítulo apresenta as conclusões, limitações e, por fim, sugere sugestões para futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Análise da Produtividade e Eficiência com a Análise Envoltória de Dados (DEA)

No cenário atual, no qual as indústrias estão inseridas, a busca por melhores indicadores é um desafio para as organizações. Em muitas delas, os conceitos de eficiência e produtividade são frequentemente tratados como sinônimos, por isso é importante compreender suas diferenças (De Souza *et al.*, 2018). A produtividade é a relação entre a quantidade de saídas (insumos gerados) pela quantidade de entradas (insumos necessários) para gerá-los, em um mesmo período (Heizer; Render, 20001; Oecd, 1994). De acordo com Mariano (2007), quanto maior a produtividade de um sistema, maior será a sua eficiência. A produtividade também pode ser compreendida como o resultado das mudanças das técnicas empregas no processo ao decorrer do

tempo, permitindo que as organizações produzam mais consumindo a mesma quantidade de insumos (Cummins; Weiss, 2011).

Quando analisado apenas a produtividade, a organização corre o risco de não utilizar seus recursos de maneira adequada (Bartelsman; Haltiwanger; Scarpetta, 2013). Uma empresa é considerada tecnicamente eficiente quando utiliza o menor número de insumos possíveis para produzir uma determinada quantidade de produtos (Cummins; Weiss, 2011). A obtenção de uma máxima produção com um determinado conjunto de insumos também pode ser considerada eficiência técnica (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). A eficiência representa a capacidade de uma organização otimizar o uso de seus recursos, reduzindo custos e maximizando resultados, receitas e lucros (Piran, 2015).

A DEA desponta como uma das técnicas mais proeminentes para a análise de produtividade e eficiência (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Trata-se de uma abordagem não paramétrica e de fronteira, que dispensa suposições sobre a função produção para estabelecer a relação entre entradas e saídas de um sistema (Lim; Bae; Lee, 2011). É utilizada para definir a eficiência das *Decision Making Unit* (DMU), as quais podem possuir múltiplas entradas e saídas (Charnes; Cooper; Rhodes, 1978). Em 1978 Charnes, Cooper e Rhodes apresentaram o modelo básico DEA, conhecido como modelo CCR, desde então diversos modelos foram desenvolvidos. Entre os modelos de DEA, os considerados clássicos são: modelo de constante de escala (CRS) e modelo de retorno variável de escala (VRS) (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). O modelo CRS é utilizado para realizar a avaliação direta da eficiência global, determinando o percentual de eficiência e, conseqüentemente, de ineficiência do sistema (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). O modelo opera com pressuposto de retornos constante de escala, ou seja, se houverem alterações nas entradas (*inputs*) ocorrerão alterações nas saídas (*outputs*) (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Por outro lado, o modelo VRS calcula a eficiência técnica das DMUs, por meio de comparações entre DMUs que possuam escala de produção semelhantes (Barberio Mariano; Almeida; Rebelatto, 2006). Ambos os modelos podem ser orientados a input ou output. Ao escolher a orientação a input, o objetivo é minimizar as entradas do processo, utilizando os recursos da maneira mais eficiente possível, enquanto as saídas permanecem constantes. Ao optar pela orientação a output, o objetivo será alcançar

a máxima produção possível, maximizando os outputs, mantendo os inputs constantes (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

2.2 Benchmarking Interno

O *Benchmarking* pode ser definido como um processo contínuo e sistemático que tem como objetivo investigar os resultados em termos de eficácia e eficiência por unidades produtivas ou técnicas de gestão (Kumar; Antony; Dhakar, 2006). O *benchmarking* interno, como o próprio nome sugere, é utilizado para realizar comparações entre diferentes setores de uma mesma empresa (Piran; Lacerda; Camargo, 2018) ou para comparar a empresa (DMU) com ela mesma em períodos de tempo distintos, o que é conhecido como comparação longitudinal (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

O *benchmarking* interno surge como uma alternativa para empresas que, por diversos motivos, não estão em condições de realizar o *benchmarking* externo. Esses motivos podem incluir a falta de conhecimento sobre os concorrentes (Southard; Parente, 2007) ou por serem organizações únicas que não podem ser comparadas diretamente a outras empresas do ramo, como Tesla, Google, entre outras (Piran *et al.*, 2021). Ao adotar o *benchmarking* interno, as empresas são capazes de analisar os efeitos da sazonalidade, influência e o impacto da gestão nos resultados da organização (Piran *et al.*, 2021). A abordagem também permite a identificação e visualização das melhores práticas já utilizadas dentro da própria organização (De Souza *et al.*, 2018). Caso existam dados disponíveis sobre outras empresas do mesmo ramo, as análises de *benchmarking* interno podem ser complementadas pelo *benchmarking* externo (Piran *et al.*, 2021).

No Quadro 1, são apresentadas algumas vantagens e desvantagens do *benchmarking* interno sobre o *benchmarking* externo.

Quadro 1 – Comparativo entre o Benchmarking Interno e Externo

Vantagens	Desvantagens
Fácil acesso às informações, obter acesso à informações de empresas externas pode ser difícil devido ao diferencial de competitividade.	Dificuldade para obter comparações internas devido a rivalidades ou competição entre áreas.
Facilidade para transferir as práticas entre diferentes filiais, o <i>benchmarking</i> interno, em geral, possui boa adesão.	O alvo pode ficar distante do que realmente é a melhor prática da indústria.
Fácil acesso às informações, obter acesso à informações de empresas externas pode ser difícil devido ao diferencial de competitividade.	

Fonte: Adaptado pelos autores de com base em Southard e Parente, (2007).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se por adotar o método de pesquisa estudo de caso, indicado para problemas complexos (Dresch; Lacerda; Antunes, 2015). Especificamente, conduziu-se um estudo de caso longitudinal, ao longo de 50 semanas (aproximadamente um ano), no qual foi aplicado o *benchmarking* interno, que em conjunto com dados longitudinais pode melhorar o desempenho das organizações (Piran *et al.*, 2023). Nesse contexto, é fundamental a utilização de séries temporais, que se configura como um requisito para avaliação da eficiência longitudinalmente (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). A partir do estudo de caso, o método de trabalho foi organizado seguindo os procedimentos: (i) definição do contexto e seleção das unidades de análise, (ii) projeto do modelo DEA, (iii) coleta e análise de dados.

3.1 Definição do contexto e seleção da unidade de análise

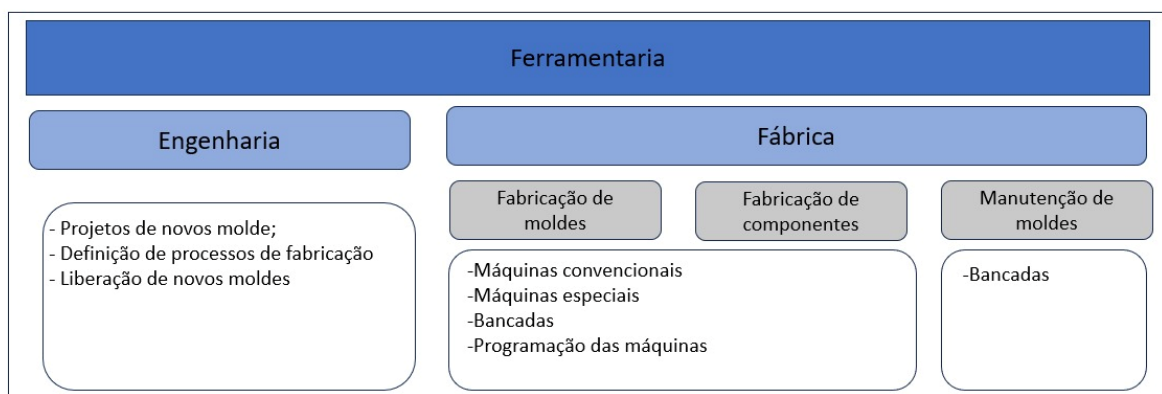
O presente estudo foi realizado em uma empresa pertencente ao segmento metal mecânico, líder mundial na fabricação de ferramentas motorizadas, destinadas aos mercados florestal, agropecuário, construção civil, jardinagem profissional e doméstico. Fundada no início do século XX na Europa, atualmente, comercializa seus produtos em mais de 150 países e mantém unidades produtivas em sete países distintos, localizadas na Europa, Ásia e América, com uma dessas instalações situada no território brasileiro.

No Brasil, a empresa possui uma unidade fabril, localizada no Rio Grande do Sul, que está em operação a mais de 50 anos e possui dois centros de distribuições,

localizados em São Paulo e no Pará, respectivamente. A fábrica brasileira está dividida em dois segmentos distintos: motores e cilindros. O negócio de motores é responsável pelo processo de montagem de máquinas, com capacidade instalada para fabricação de 1,1 milhão de máquinas por ano. Enquanto o segundo negócio é responsável pela fabricação de 90% de todos os cilindros do grupo, com capacidade instalada de mais de 11 milhões de cilindros por ano.

A pesquisa foi conduzida no setor de ferramentaria responsável pela fabricação, manutenção e correção de moldes utilizados para injeção de peças em alumínio, magnésio e plástico. O setor em questão é composto pelas áreas de engenharia e produção, totalizando um quadro de aproximadamente 300 funcionários. A engenharia possui como funções principais: desenvolver os projetos dos novos moldes, definir os processos de fabricação, realizar a liberação dos mesmos e fornecer suporte para a área fabril. No ano em que a pesquisa foi realizada, foi orçada a fabricação de 18 novos moldes, de acordo com a capacidade instalada no setor, porém só 14 moldes foram entregues no prazo estipulado, em média o processo fabricação do molde (projeto, compra de materiais, fabricação dos componentes, montagem e liberação) possui um *leadtime* de 32 semanas. A Figura 1 apresenta as áreas envolvidas no processo.

Figura 1 – Modelo DEA utilizado na pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por sua vez a fábrica tem como atividades principais: fabricação de componentes, montagem e manutenção dos moldes. O setor de produção é subdividido em máquinas convencionais (torno, fresa, laser, retífica e furo rápido),
 Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 4, e-5321, 2024.

máquinas especiais (3 eixos, 5 eixos, eletroerosão, e corte a fio) e bancadas (preventivas, corretivas e de construção de moldes novos). Em 2021, 131 moldes passaram pelo processo de manutenção na ferramentaria, este processo é composto pelas atividades desmontagem do molde, limpeza das peças, identificação dos componentes que precisam ser corrigidos, medição tridimensional das peças, modelagem CAM, correção, verificação das correções, tratamento térmico das peças, montagem do molde e liberação para produção, o *leadtime* desse processo é de 45 dias.

Com base nas discussões realizadas com o gerencia da ferramentaria e com o grupo de estudo, concluiu-se que seria pertinente e adequado, nesse primeiro momento conduzir o processo de modelamento DEA apenas com grupo de máquinas especiais. Por ser a única área da ferramentaria que possui informações acuradas no banco de dados, utilizado pela empresa, referente as entregas semanais e mensais. Além de compreender os processos produtivos responsáveis tanto pela fabricação de moldes novos quanto pela correção dos componentes de moldes em manutenção, as duas atividades principais do setor da ferramentaria e possuir o maior valor de capital investido no setor.

3.2 Projeto do modelo DEA

O modelo DEA foi desenvolvido em conjunto com três especialistas da ferramentaria em estudo, incluindo o gerente do setor, que é Engenheiro Mecânico, o supervisor do planejamento de produção da ferramentaria, Engenheiro de Produção, e por fim, o analista de planejamento de produção da ferramentaria, que é mestrando em Engenharia de Produção. A análise foi realizada com base nos dados referentes ao período compreendido entre janeiro de 2021 e dezembro de 2021, totalizando 50 semanas. A escolha de utilizar apenas os dados mais recentes se deve às mudanças nas tecnologias empregadas no processo de fabricação, como a introdução de novas máquinas, mudanças no regime de trabalho e atualizações no software de planejamento, ocorridas até novembro de 2020. O período de análise deve contemplar o maior tempo possível para possibilitar análise dos efeitos de intervenções realizadas nas unidades analisadas (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

Para definição das variáveis de entrada e saída foram seguidos os quatro pressupostos elementares propostos por (Dyson *et al.*, 2001): (i) abranger a totalidade dos recursos utilizados, sem tornar o modelo complexo; (ii) abranger todos os níveis de atividades e medidas de desempenhos; (iii) utilizar o conjunto de variáveis de entradas e saídas utilizadas em todas as unidades de análise; (iv) se necessário, utilizar as variáveis ambientais no modelo. A escolha inadequada das variáveis de entrada e saída pode gerar incoerências nos resultados, impactando a análise (De Souza *et al.*, 2018). No Quadro 2, são apresentadas as variáveis de entrada e saídas utilizadas no modelo, juntamente com o detalhamento e unidade de medida. A lista de inputs e outputs foi desenvolvida e validada pelo grupo de especialistas.

Quadro 2 – Variáveis selecionadas

Nome da variável	Tipo	Descrição da variável	Unidade
Operadores	<i>Input</i>	Número de operadores	Pessoas
Indisponibilidade	<i>Input</i>	Total de horas indisponíveis para trabalho das máquinas	Horas
Ordens	<i>Input</i>	Quantidade de ordens em execução na fábrica	Quantidade
Apontamento	<i>Input</i>	Total de horas de trabalho apontadas no SAP	Horas
Horas atendidas	<i>Output</i>	Total horas atendidas de roteiro	Horas
Retrabalho/Sucata	<i>Output</i>	Total de horas de retrabalhos/sucata gerados (saídas indesejáveis)	Horas
Desvio	<i>Output</i>	Total de horas de desvio absoluto de tempo de roteiro x tempo praticado (saídas indesejáveis)	Horas
Horas planejadas não atendidas	<i>Output</i>	Total de horas planejadas que não foram realizadas durante o período de planejamento (saídas indesejáveis)	%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A literatura apresenta diversos modelos matemáticos, sendo o *Constant Returns to Scale* (CRS) e *Variable Returns to Scale* (VRS) considerados modelos clássicos. O modelo VRS é indicado quando as DMUs possuem amplitudes diferentes, ou seja, não apresentam proporcionalidade entre si. Já o modelo CRS é utilizado em casos que as DMUs comparadas apresentam proporcionalidade entre si (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

Neste estudo, foi definida a utilização do modelo CRS, pois o objetivo é analisar, em diferentes períodos de tempo em um mesmo setor, possuindo amplitudes

semelhantes. O modelo CRS é o recomendado para a realização de análises de *benchmarks* internos (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

O modelo DEA pode ser orientado para entrada (*input*) ou saída (*output*). Quando se possui como objetivo minimizar a utilização dos recursos (*inputs*) e manter as saídas (*outputs*), utiliza-se orientação para *input*. Para casos em que o objetivo é manter as entradas constantes e maximizar as saídas, utiliza-se orientação a *output* (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). No presente estudo, o objetivo é avaliar a eficiência do setor de máquinas da Ferramentaria, que está em um período de alta demanda de produção/pedidos. Sendo assim, definiu-se a orientação a *output*, visando maximizar as saídas do modelo. O modelo CRS com orientação a *output* é mostrado na Equação 1:

$$\text{Min } h_o = \sum_{i=1}^n v_i x_{i0}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

$$u_j \geq 0, \forall j$$

$$v_i \geq 0, \forall i$$

Onde:

v_i = peso calculado para o input i , $i=1, \dots, n$

u_j = peso calculado para o output j , $j=1, \dots, m$

x_{i0} = quantidade do input i para DMU em análise

y_{j0} = quantidade do output j para DMU em análise

x_{ik} = quantidade do input i para DMU k , $k=1, \dots, n$

y_{jk} = quantidade do output j para DMU k , $k=1, \dots, n$

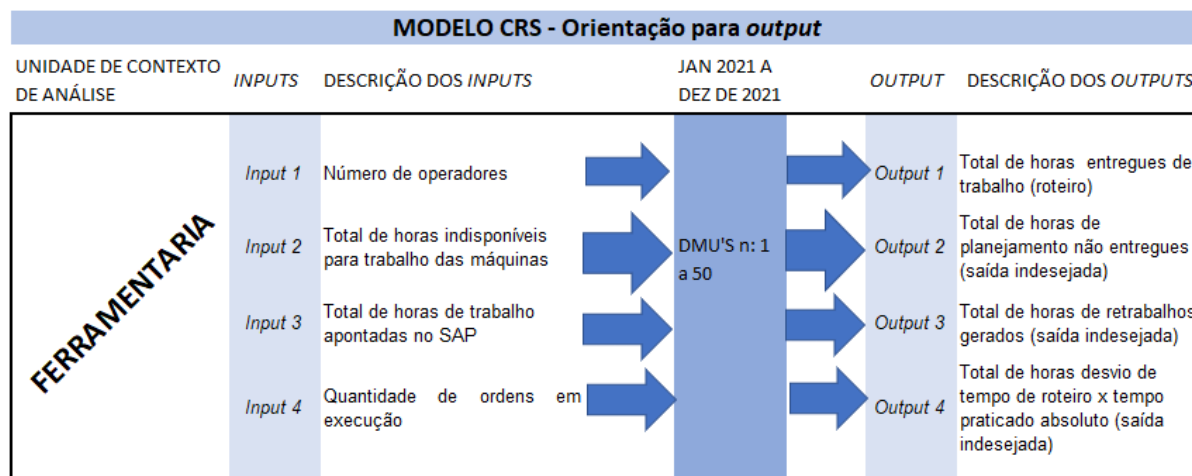
k = número DMU em análise

n = número de inputs

m = número de outputs

A definição do modelo e sua orientação é a etapa final da modelagem DEA. Após esta etapa, foi realizada a verificação junto ao grupo de especialistas quanto a disponibilidade das informações necessárias para a execução da modelagem, bem como a validação do modelo. A Figura 2 demonstra a esquematização do modelo DEA utilizado na pesquisa.

Figura 2 – Modelo DEA utilizado na pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Coleta e Análise de Dados

Para preservar o sigilo dos dados da empresa, todos as informações utilizadas no estudo foram multiplicadas por uma constante. Os dados foram obtidos de diferentes plataformas oferecidas pela empresa. Como por exemplo, o software de gestão SAP, NUMERICON *software*, utilizado para extração de dados em tempo real da produção das máquinas, similar ao *Manufacturing Execution System* (MES), DRUMMER, *software* utilizado pelo planejamento para o controle e sequenciamento das atividades produtivas da ferramentaria, e planilhas eletrônicas, utilizadas para gestão da fábrica, em relação aos retrabalhos, sucatas, roteiros de fabricação e indicadores de atendimento do planejamento. Os dados do período de análise foram registrados em planilhas eletrônicas distintas, e posteriormente tratados, quando necessário, e unificados em uma segunda planilha para utilização no *software* SAGEPE (www.sagepe.com.br). Os dados obtidos passaram por uma avaliação

criterosa por parte do grupo de estudo e dos especialistas da área, a fim de confirmar sua qualidade e validade. Os dados organizados e tratados utilizados no *software* se encontram na Tabela 1.

Figura 1 – Modelo DEA utilizado na pesquisa

Semana	Número de operadores	Total de horas interrupção máquinas	Total de horas de trabalho apontadas no SAP	Quantidade de ordens em execução	Horas atendidas	Horas planejadas não atendidas (minimizar)	Quantidade de retrabalhos gerados (minimizar)	Desvio de roteiro (minimizar)
1	12	454,45	1238,96	86	828,28	0,002696	0,008652	0,004158
2	14	392,65	1280,14	81	890,47	0,004715	0,011823	0,003102
3	13	449,83	1421,84	92	1179,51	0,002822	0,008021	0,0028
4	13	431,84	1396,22	96	1202,59	0,002263	0,00783	0,004914
5	15	466,95	1334,27	95	1099,8	0,002047	0,018188	0,009346
6	15	458,25	1296,23	76	1052,2	0,002457	0,012633	0,003286
7	14	401,9	1277,95	91	1326,85	0,006277	0,011631	0,004042
8	16	396,68	1216,96	74	1186,79	0,007081	0,020593	0,006083
9	16	482,65	1276,64	81	1167,63	0,002251	0,012953	0,010811
10	16	178,57	1272,77	86	1213,86	0,004946	0,011631	0,024814
11	15	432,93	1283,12	73	1042,85	0,003535	0,009498	0,008688
12	16	607,25	1149,72	73	1150,92	0,002691	0,014921	0,01506
13	15	384	991,89	70	1027,16	0,00394	0,008085	0,012626
14	15	594,34	1098,16	79	1045,22	0,001984	0,007447	0,018116
15	14	516,23	1339,52	75	1074,93	0,002221	0,0065	0,007728
16	16	441,28	1313,89	67	1147,6	0,002538	0,008641	0,006173
17	13	578,84	1192,95	75	1134,92	0,004251	0,008007	0,005432
18	14	549,78	1206,96	76	1027,84	0,001964	0,006795	0,008026
19	15	552,78	1294,52	82	1207,16	0,002968	0,010678	0,003912
20	13	515,18	1403,48	94	1211,15	0,002928	0,011362	0,004928
21	17	509,86	1307,43	93	1125,95	0,004995	0,010601	0,008326
22	17	414,6	1430,82	98	1225,41	0,006127	0,009272	0,007123
23	17	465,16	1327,06	89	1075,35	0,003827	0,006675	0,004558
24	14	568,26	1277,09	104	1151,25	0,003582	0,00799	0,00456
25	13	516,58	1318,77	116	1241,63	0,005251	0,009226	0,006321
26	16	408,13	1417,6	122	1278,12	0,003929	0,008161	0,004904
27	15	481,61	1411,92	108	1270,65	0,00545	0,008958	0,005254
28	16	443,98	1453,01	96	1360,32	0,004766	0,007217	0,014771
29	13	440,22	1339,86	81	1239,22	0,004816	0,006495	0,008123
30	15	496,69	1438,37	115	1300,47	0,004486	0,009832	0,005721
31	15	498,57	1415,08	121	1369,11	0,004965	0,00568	0,005247
32	16	430,98	1498,38	119	1268,93	0,003817	0,005406	0,008065
33	16	473,87	1342,47	107	1277,13	0,006828	0,010441	0,007776
34	16	425,93	1347,12	103	1333	0,005271	0,011608	0,004034
35	14	538,66	1340,76	106	1205,97	0,003384	0,01846	0,006242
36	14	469,11	1160,27	85	996,09	0,002964	0,00905	0,024814
37	16	300,81	1211,67	91	1325,82	0,003269	0,008282	0,012755
38	16	410,06	1087,62	89	1096,64	0,004414	0,010322	0,006911
39	14	373,8	1404,72	98	1402,19	0,003149	0,006376	0,004717
40	13	415,12	1407,35	94	1112,59	0,005426	0,008207	0,00634
41	14	403,38	1124,6	89	967,38	0,004529	0,024456	0,008071
42	15	453,13	1366,22	106	919,91	0,002679	0,006093	0,006685
43	13	462,18	1400,18	98	1180	0,003575	0,009812	0,007203
44	14	345,34	1327,59	97	975,3	0,004219	0,010967	0,004146
45	16	424,91	1342,31	112	1191,02	0,005731	0,005935	0,008658
46	16	343,76	1282,48	105	1266,15	0,004545	0,004863	0,00405
47	15	467,77	1411,68	120	1209,87	0,004386	0,006818	0,00498
48	13	340,34	1356,1	110	1020,69	0,004031	0,006848	0,004177
49	14	557,55	1354,64	120	1134,15	0,005635	0,005645	0,010725
50	12	367,29	1141,72	93	845,75	0,002357	0,005864	0,006174

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para avaliar o impacto das ações gerenciais e intervenções realizadas ao longo do período, foi escolhida a técnica de incidentes críticos (CIT). Técnica que combinada com *benchmarking* interno, tem apresentado resultados positivos na análise dos efeitos das ações gerenciais (Piran *et al.*, 2021). Os incidentes críticos podem ser classificados como externos (ICE) e internos (ICI). Os incidentes externos, são eventos não controláveis que impactam nos resultados do sistema, enquanto os incidentes internos são eventos ou ações controláveis realizadas pela gerência do sistema com objetivo de melhorar a eficiência (Piran *et al.*, 2021). Após a identificação dos ICs, espera-se obter as seguintes informações: (i) como era a eficiência das máquinas antes do evento (histórico), (ii) o acontecimento (incidente), (iii) os efeitos do acontecimento na eficiência da ferramentaria (Kostamo *et al.*, 2019).

4 RESULTADOS

Inicialmente foram analisadas a eficiência técnica das 50 DMUs. Com base na eficiência técnica das DMUs, são identificados e analisados os incidentes críticos que ocorreram ao longo do período, os quais geraram impactos na eficiência técnica. Em um segundo momento, serão analisados os alvos e folgas de cada DMU.

4.1 Coleta e Análise de Dados

Na Tabela 2 são apresentadas as eficiências padrão semanal da ferramentaria estudada, referente às 50 semanas do ano de 2021, de janeiro a dezembro, em ordem cronológica, além do desvio padrão e eficiência média, conforme Tabela 2:

Tabela 2 – Eficiência técnica semanal da ferramentaria

DMU	Eficiência	DMU	Eficiência
1	75,67%	26	86,43%
2	76,52%	27	89,26%
3	93,34%	28	97,19%
4	95,40%	29	100,00%
5	93,59%	30	91,10%
6	87,29%	31	95,03%
7	100,00%	32	84,72%
8	100,00%	33	99,29%
9	92,96%	34	94,26%

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 4, e-5321, 2024.

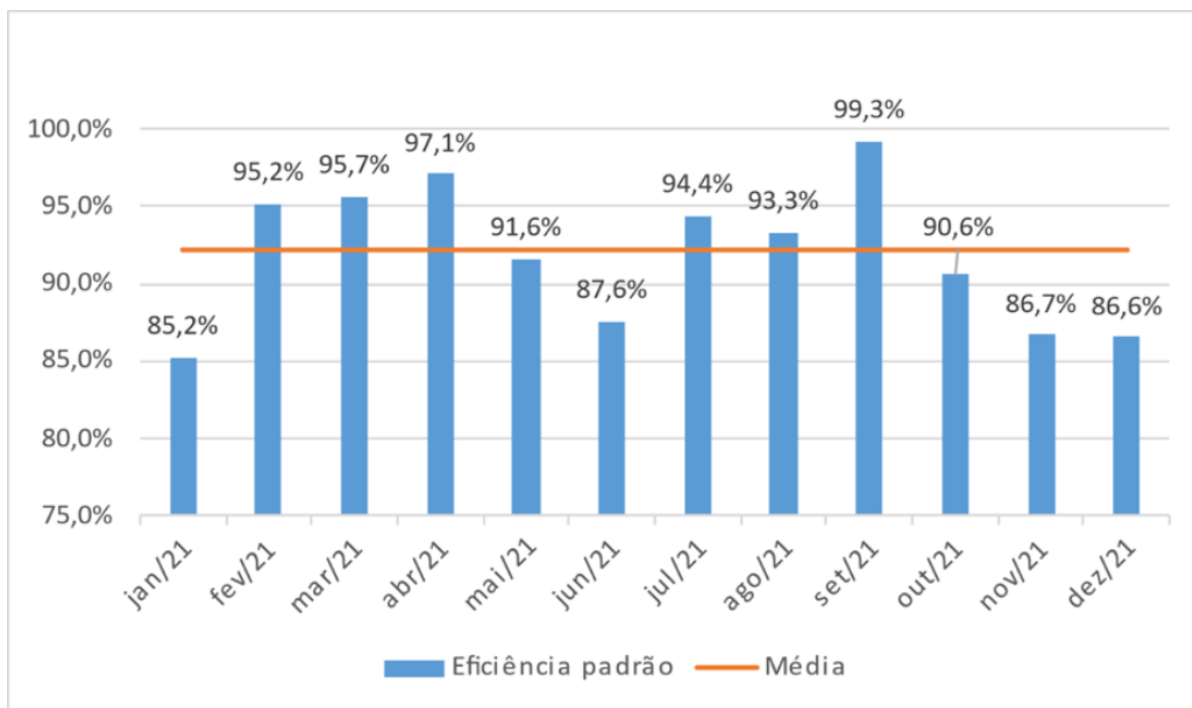
DMU	Eficiência	DMU	Eficiência
10	100,00%	35	100,00%
11	89,68%	36	100,00%
12	100,00%	37	100,00%
13	100,00%	38	96,30%
14	96,12%	39	100,00%
15	90,81%	40	97,55%
16	100,00%	41	100,00%
17	98,81%	42	67,02%
18	87,72%	43	98,01%
19	95,49%	44	81,07%
20	99,74%	45	88,06%
21	83,60%	46	93,44%
22	85,27%	47	84,32%
23	79,17%	48	83,43%
24	87,15%	49	100,00%
25	100,00%	50	76,33%
MÉDIA	92,22%		
DESVIO PADRÃO	8,22%		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados referentes a eficiência máxima, mínima, média e desvio padrão foram respectivamente: 100%, 67,02%, 92,22% e 8,22%. Em quatorze semanas, representando 28% do período de análises, as DMU's atingiram o valor máximo de eficiência. A DMU que apresentou pior desempenho no período foi a semana 42 (18/10/2021 – 25/10/2021).

Com o objetivo de facilitar a análise dos dados contidos na Tabela 2, foi elaborado um gráfico que apresenta a eficiência mensal da ferramentaria. O mês que apresenta melhor desempenho é setembro, atingindo o valor de 99,3%. Apenas 50% dos meses obtiveram eficiência acima da média, sendo eles fevereiro, março, abril, julho, agosto e setembro. O mês que obteve o pior desempenho, com 85,2% de eficiência técnica, foi janeiro, seguido por dezembro, com uma eficiência de 86,6%. Essas informações podem ser visualizadas no Gráfico 1.

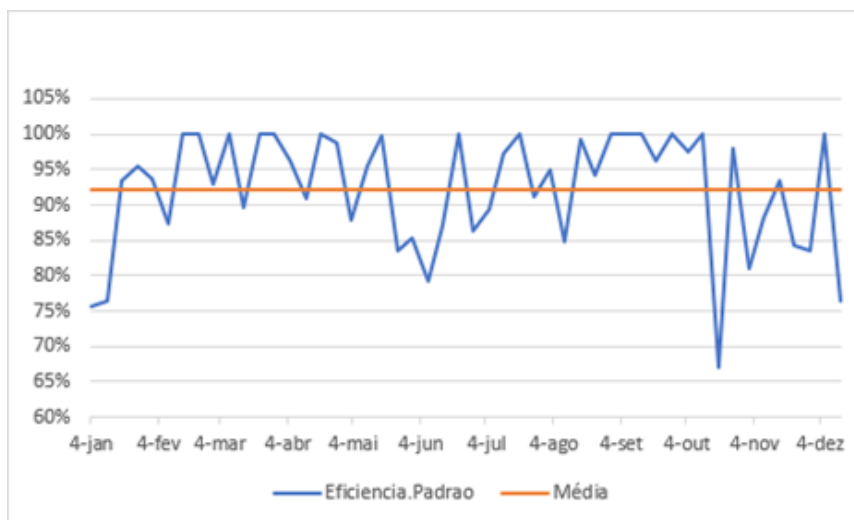
Gráfico 1 – Eficiência média mensal



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do SAGEPE.

Ao analisar a eficiência da ferramentaria semanalmente, é possível identificar flutuações no desempenho do setor ao longo do tempo. Como pode-se observar no Gráfico 2, algumas semanas apresentam valores de eficiência padrão significativamente menores do que a eficiência média, de 92%, como a semana 1, 2, 21 e 50. Essas quedas na eficiência podem estar relacionadas a eventos, internos e/ou externos, que ocorreram na empresa e influenciaram no desempenho do setor. Estes acontecimentos serão identificados e analisados no tópico 4.2, com o auxílio da técnica de incidente crítico.

Gráfico 2 – Evolução da eficiência técnica

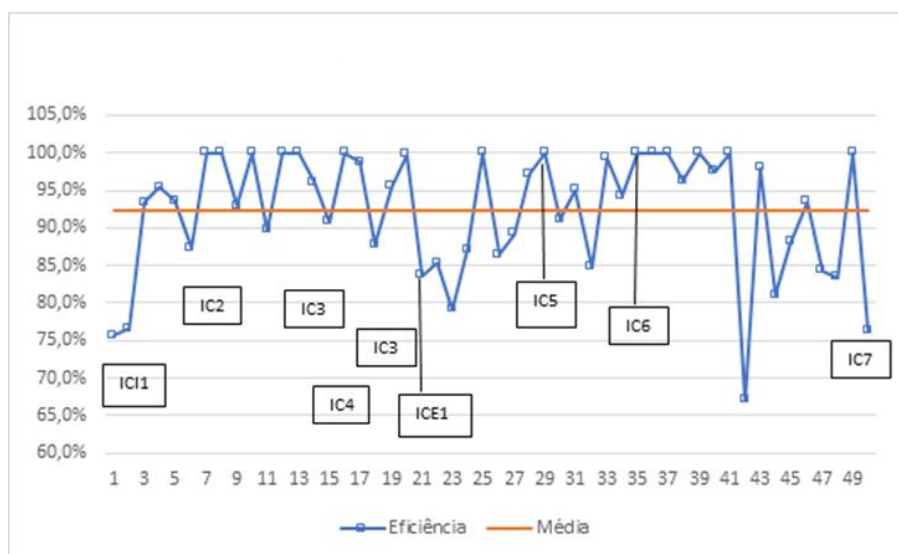


Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do SAGEPE.

4.2 Identificação e Análise dos incidentes Críticos

No presente estudo, serão considerados incidentes críticos internos, ações relacionadas a gestão, planejadas ou não, que impactaram na eficiência do setor. Foram identificados um total de sete incidentes críticos internos e um incidente crítico externo, conforme apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Identificação de incidentes críticos



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do SAGEPE.

Após identificação dos eventos com relevância no resultado da eficiência do setor, em conjunto com o grupo de especialista e dados da empresa (atas de reuniões semanais de resultados do setor, e-mails, entre outros). Utilizando como base as informações, levantou-se o histórico da eficiência antes do evento, a descrição e o efeito. As informações obtidas foram organizadas conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Variáveis selecionadas

Incidente crítico	DMU	Histórico	Descrição do incidente crítico	Efeito de eficiência técnica
ICI1	1 04/01/21	Recesso final de ano	Retorno de produção após recesso de final de anos	Eficiência técnica aproximadamente 20% menor que a média
ICI2	7 15/02/2021	Eficiência média até o momento 86,7%	Alocação de mão de obra exclusiva para duas máquinas, teste da engenharia da ferramentaria	Aumento de 13% na eficiência
ICI3	15 12/04/2021	Três semanas com eficiência técnica acima de 95%	Parada de manutenção corretiva acima de 72 horas em máquina	Diminuição de 8% da eficiência em relação as últimas 3 semanas
ICI4	16 19/04/2021	Retorno de máquina que estava em manutenção. Eficiência técnica de 90%	Trabalho em hora extra no feriado, para compensar perda da última semana	Aumento de 10% na eficiência
ICI3	18 03/05/2021	Duas semanas com eficiência acima da média	Parada de manutenção corretiva acima de 72 horas em máquina	Diminuição de 12% na eficiência
ICE1	21 24/05/2021	Tendência de aumento de casos de covid-19 no Rio Grande do Sul	Aumento de afastamentos decorrente de sintomas de Covid-19	Diminuição de 16% na eficiência
ICI5	29 19/07/2021	Aumento de desvio de roteiro em alguns CT	Realizado treinamento com novos operadores de algumas máquinas na semana 28	Aumento de 9% na média em relação as 3 semanas anteriores.
ICI6	35 30/08/2021	Um operador por máquina	Validação do teste realizado na semana 7.	Sete semanas com eficiência próxima do 100%
ICI7	50 13/12/2021	Últimas quatro semanas com eficiência técnica em 90%	Véspera de férias coletivas.	Diminuição de 17% da eficiência em relação ao mês anterior.

Fonte: Elaborado pelos autores.

É reconhecido pela empresa e pelo grupo de especialistas que, no retorno da produção após recessos ou férias coletivas (ICI1), a produção não atinge o

desempenho esperado, impactando negativamente na eficiência da área durante esse período de retomada. Nesse momento, também ocorre concentração de férias, fazendo com que a mão de obra seja realocada em postos de trabalho, que geralmente não são os habituais, perdendo eficiência. O setor leva, aproximadamente, duas semanas para retornar ao funcionamento pleno, o que é confirmado com a eficiência técnica da semana 3, aproximadamente 20% maior do que das semanas anteriores.

No setor, os operadores trabalham simultaneamente em duas máquinas/postos de trabalho. O compartilhamento de mão de obra não impacta nas entregas do setor, devido ao longo tempo de processamento dos componentes em máquina. No entanto, observou-se que a máquina 001, quando dedicada exclusivamente à produção de produtos do tipo A, com operador dedicado, tem um aumento nas entregas. Nas semanas 7 e 8 alocou-se mão de obra exclusiva na máquina 001 e produziu-se apenas produtos da família A, para validar, com testes práticos (ICI2), o resultado esperado. Durante essas duas semanas, a eficiência técnica aumentou em 13% em relação às semanas anteriores. Após período de teste, a engenharia em conjunto com o planejamento, acordou em priorizar a produção de produtos do tipo A apenas na máquina 001. A gerência ficou com a responsabilidade de aprovar junto a diretoria uma mão de obra exclusiva para a máquina em questão.

Durante a semana 15, ocorreu a quebra de uma das máquinas do setor da ferramentaria, ficando indisponível para a produção por mais de 72 horas (ICI3), impactando em 8% na eficiência técnica, em comparação com as semanas anteriores. Na semana 16, com todas as máquinas disponíveis para produção, a gerência optou por trabalhar em regime de hora extra (ICI4) no feriado, com o objetivo de recuperar as perdas da produção da semana anterior.

Na semana 18, a máquina que estava em manutenção corretiva (ICI3) na semana 15 voltou a apresentar problemas, ficando parada por mais 55 horas. Além da máquina em questão, outra máquina parou por 30 horas para manutenção corretiva (ICI3), gerando uma queda de 12% na eficiência técnica em relação às semanas anteriores.

Entre a última quinzena de maio e a primeira quinzena de junho, os casos de afastamentos por COVID-19 (ICE1) na empresa aumentaram expressivamente

fazendo-se necessário alocar mão de obra de outros centros de trabalho nas máquinas da ferramentaria. Impactando negativamente na eficiência do setor nas semanas 21, 22 e 23, retornando ao normal na semana 24.

Na semana 27, durante a reunião semanal de fechamento dos resultados da semana anterior, foi identificado um aumento nos valores absolutos de desvio de tempo de roteiro (tempo roteirizado versus tempo realizado). Na semana 28, foi realizado treinamento (ICI5) com foco nos operadores dos postos de trabalhos com maiores incidências de desvios.

Nas semanas 35 a 41, foi realizado novo teste (ICI6) na máquina 001, alocando novamente uma mão de obra exclusiva no equipamento, com objetivo de coletar uma amostragem maior de semanas e validar, junto com a diretoria, a mão de obra extra para o centro de trabalho. Durante estas 7 semanas, a eficiência técnica do setor esteve acima de 95%.

A empresa tem como prática realizar férias coletivas no final do ano, como forma de evitar perdas de produção ao longo do ano devido às férias individuais dos colaboradores. É conhecimento dos especialistas que, assim como na semana seguinte ao retorno das férias coletivas, a semana anterior a parada também possui suas entregas impactadas. A semana 50 também foi a semana com menos operadores disponíveis, apresentando uma eficiência técnica 26% abaixo das anteriores.

A identificação dos incidentes críticos é uma ferramenta importante para suporte de decisões gerenciais, com base no histórico. Outro dado importante fornecido pelo DEA são os alvos e folgas de cada DMU, que é apresentado na próxima sessão do capítulo.

4.3 Alvos e Folgas

A análise dos alvos e folgas permite identificar os valores que cada parâmetro do modelo, output ou input, deve atingir para a DMU ineficiente se tornar eficiente (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Na Tabela 3 são apresentados os valores de alvo e folga para cada output das DMU's ineficientes:

Tabela 3 – Alvos e Folgas de DMUs Ineficientes

DMU	Horas atendidas			Horas planejadas não atendidas (saídas indesejadas)			Horas de retrabalho (saídas indesejadas)			Desvio de roteiro (saídas indesejadas)		
	Atual	Alvo	folga	Atual*	Alvo	Folga*	Atual*	Alvo	Folga*	Atual*	Alvo	Folga*
1	828,3	1.094,7	266,4	370,9	280,6	90,3	115,6	87,5	28,1	240,5	182,0	58,5
2	890,5	1.163,7	273,2	212,1	162,3	49,8	84,6	64,7	19,9	322,4	205,4	117,0
3	1.179,5	1.263,7	84,2	354,3	221,5	132,8	124,7	116,4	8,3	357,1	247,7	109,4
4	1.202,6	1.260,6	58,0	441,9	287,3	154,6	127,7	121,8	5,9	203,5	194,1	9,4
5	1.099,8	1.175,1	75,3	488,6	193,6	295,0	55,0	51,5	3,5	107,0	100,1	6,9
6	1.052,2	1.205,3	153,1	407,0	171,2	235,8	79,2	69,1	10,1	304,3	146,4	157,9
9	1.167,6	1.256,1	88,5	444,3	218,9	225,4	77,2	71,8	5,4	92,5	86,0	6,5
11	1.042,9	1.162,8	120,0	282,9	253,7	29,2	105,3	90,6	14,6	115,1	103,2	11,9
14	1.045,2	1.087,5	42,2	504,1	254,6	249,5	134,3	106,6	27,6	55,2	53,1	2,1
15	1.074,9	1.183,7	108,7	450,3	259,7	190,6	153,8	122,4	31,4	129,4	117,5	11,9
17	1.134,9	1.148,6	13,7	235,3	187,3	48,0	124,9	93,1	31,8	184,1	162,7	21,4
18	1.027,8	1.171,7	143,8	509,1	222,9	286,2	147,2	87,1	60,0	124,6	109,3	15,3
19	1.207,2	1.264,2	57,0	336,9	156,4	180,5	93,7	67,7	26,0	255,6	159,5	96,1
20	1.211,2	1.214,3	3,2	341,5	283,3	58,2	88,0	87,8	0,2	202,9	202,4	0,5
21	1.126,0	1.346,8	220,8	200,2	167,4	32,8	94,3	78,9	15,5	120,1	100,4	19,7
22	1.225,4	1.437,1	211,7	163,2	139,2	24,0	107,9	60,7	47,1	140,4	110,0	30,4
23	1.075,4	1.358,2	282,9	261,3	161,2	100,1	149,8	60,6	89,2	219,4	116,5	102,9
24	1.151,3	1.320,9	169,7	279,2	198,8	80,4	125,2	102,8	22,4	219,3	191,1	28,2
26	1.278,1	1.478,8	200,6	254,5	185,9	68,6	122,5	93,3	29,2	203,9	141,3	62,6
27	1.270,7	1.423,6	152,9	183,5	163,8	19,7	111,6	91,7	19,9	190,3	169,9	20,4
28	1.360,3	1.399,6	39,3	209,8	203,9	5,9	138,6	105,9	32,7	67,7	65,8	1,9
30	1.300,5	1.427,5	127,0	222,9	171,6	51,3	101,7	92,7	9,1	174,8	159,2	15,6
31	1.369,1	1.440,7	71,6	201,4	191,4	10,0	176,1	99,6	76,4	190,6	181,1	9,5
32	1.268,9	1.497,9	228,9	262,0	222,0	40,0	185,0	107,6	77,4	124,0	105,0	19,0
33	1.277,1	1.286,3	9,1	146,5	145,4	1,0	95,8	63,9	31,9	128,6	127,7	0,9
34	1.333,0	1.414,2	81,2	189,7	172,6	17,1	86,2	81,2	4,9	247,9	131,0	116,9
38	1.096,6	1.138,7	42,1	226,6	218,2	8,4	96,9	93,3	3,6	144,7	139,3	5,4
40	1.112,6	1.140,5	27,9	184,3	179,8	4,5	121,9	108,3	13,6	157,7	153,9	3,9
42	919,9	1.372,6	452,7	373,3	229,6	143,7	164,1	110,0	54,1	149,6	100,3	49,3
43	1.180,0	1.203,9	23,9	279,7	223,9	55,8	101,9	99,9	2,0	138,8	136,1	2,8
44	975,3	1.203,0	227,7	237,1	181,1	56,0	91,2	73,9	17,3	241,2	113,2	128,0
45	1.191,0	1.352,5	161,5	174,5	153,7	20,8	168,5	69,7	98,8	115,5	101,7	13,8
46	1.266,2	1.355,0	88,9	220,0	205,6	14,4	205,6	96,8	108,8	246,9	96,8	150,1
47	1.209,9	1.434,9	225,1	228,0	192,2	35,8	146,7	99,6	47,0	200,8	169,3	31,5
48	1.020,7	1.223,5	202,8	248,1	207,0	41,1	146,0	107,4	38,7	239,4	173,2	66,2
50	845,8	1.108,0	262,2	424,4	255,2	169,2	170,5	130,2	40,4	162,0	123,6	38,3

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do SAGEPE.

Para a realização da análise de alvos e folgas, as DMU's eficientes foram desconsideradas, uma vez que já atingiram o valor máximo de eficiência, ou seja,
 Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 4, e-5321, 2024.

utilizaram de forma adequada as entradas, obtendo o melhor valor possível em cada saída. Para melhor compreensão dos alvos e folgas, em modelamentos com objetivo de maximizar as saídas, será utilizada a semana 26 como exemplo. A DMU 26 entregou 1278,1 horas de atendimento de roteiro (*output 1*). Com a utilização correta dos insumos (*inputs*), poderiam ter sido entregues 1478,8 horas (alvo), aumentando, assim, em 200 horas a entrega na semana (folga). Para as saídas indesejadas do modelamento (horas planejadas não atendidas, retrabalho e desvio de roteiro), a análise é realizada de forma similar. Para a DMU26 ser considerada eficiente, deveria ter sido gerado apenas 141 horas (alvo) de desvio de roteiro, ao invés de 204 horas (valor atual), possuindo, assim, a necessidade de se reduzir em 62,6 horas o desvio de roteiro absoluto (folga).

No mundo corporativo, no qual a ferramentaria estudada se encontra, existe uma busca constante para incrementos na eficiência. A análise dos alvos e folgas do setor pode ser um diferencial para alcançar os objetivos esperados. Com esses dados é possível identificar em quais outputs existem maiores oportunidades de melhoria. Na Tabela 4 é apresentada a análise relativa das folgas por output do modelo:

Tabela 4 – Análise relativa das folgas por output do modelo DEA

Variável	Descrição	Total do Período (Horas)	Total das Folgas (Horas)	Representatividade das Folgas
<i>Output 2</i>	Horas planejadas não atendidas	10.549,20	3.226,60	30,60%
<i>Output 3</i>	Horas de retrabalho	4.418,90	1.152,80	26,10%
<i>Output 4</i>	Horas desvio absoluto	6.517,90	1.541,90	23,70%
<i>Output 1</i>	Horas atendidas	41.018,20	4.998,10	12,20%

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do SAGEPE.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4 é possível quantificar as oportunidades de melhoria de cada output em relação as DMU's eficientes, sem necessidade de aumentar os inputs. O valor de representatividade das folgas, indica quanto, em média, é possível melhorar percentualmente em cada output, utilizando como base os melhores desempenhos obtidos no período avaliado. Além de fornecer dados valiosos para a gerência do setor elencar quais variáveis devem ser tratados com prioridades nos planos de ações com foco no aumento da eficiência técnica da ferramentaria.

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A presente pesquisa está focada na avaliação da eficiência técnica da ferramentaria, utilizando a estrutura de *benchmarking* interno. Tendo como principais contribuições metodológicas a aplicação do modelo DEA, em conjunto com a técnica de incidentes críticos visando entender os efeitos das ações gerenciais ao longo de um ano. Compreendendo assim, o motivo de ocorrerem diferenças de eficiências entre as DMUs ao longo do tempo. Corroborando com os resultados encontrados por Piran *et al.*, (2021), que a utilização da técnica de incidentes críticos auxilia na compreensão dos efeitos das ações gerenciais ao longo do tempo.

Pode-se concluir que a análise da eficiência da ferramentaria, utilizando modelamento DEA, apresenta elevado potencial de auxiliar a gerência na busca de melhores resultados, compilando em um único indicador o que antes era visto de diferentes indicadores e conceitos e possibilitando correlacionar inputs e outputs de maneira mais assertiva e simples, evidenciando quais outputs devem ser tratados primeiro pois possuem maior margem para incrementar os valores de eficiência. Com possibilidades de tornar informações dos indicadores de alvos e folgas em um plano de ação assertivo e, por fim, com o uso do *benchmarking* interno, proporcionar autoconhecimento para o setor.

A aplicação da técnica de incidentes críticos, alinhado com modelamento DEA, apontou importantes informações para a gerência do setor, auxiliando na avaliação e entendimento dos eventos que impactaram a área, apontando eventos de origem interna, em que a organização exerce controle, e devem ser tratados para não impactarem novamente as entregas ou os incidentes que podem ser utilizados como *benchmarking* em períodos futuros, além de apontar os eventos externos que impactaram o resultado e não possuem ações que possam ser realizadas para buscar sua diminuição.

Além das contribuições citadas acima, o trabalho também traz contribuições práticas, mostrando que é possível aplicar o *benchmarking* interno em áreas/setores em que não é possível obter dados de concorrentes para aplicação de *benchmarking* externo.

Em relação ao âmbito acadêmico, o presente trabalho colabora com os estudos já existentes sobre *benchmarking* interno, comparando a eficiência técnica do setor

longitudinalmente, utilizando como base as pesquisas realizadas. Nas buscas, é evidenciado o baixo volume de trabalhos que combinam a técnica de incidente crítico com a modelagem DEA. Até o momento de publicação do trabalho, não foi localizado, nas bases de dados utilizadas para realização da pesquisa em questão, trabalhos que aplicassem modelamento DEA em uma ferramentaria. Também não se identificou trabalhos que utilizassem as análises de alvos e folgas, proporcionados pelo modelamento DEA, como base para elaboração de planos de ações.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa realizada na ferramentaria, de uma empresa metal mecânica, teve como objetivo avaliar a eficiência técnica, os alvos e folgas e, por fim, os incidentes críticos que impactam a eficiência técnica do setor. A pesquisa foi realizada no período compreendido entre janeiro de 2021 e dezembro de 2021, totalizando cinquenta semanas de análise. Para realização do estudo, primeiramente, realizou-se a revisão da literatura, analisando pesquisas realizadas anteriormente sobre o tema, e posteriormente, coletou-se os dados necessários para aplicação do método. Os dados coletados foram validados pelo grupo de especialistas da empresa, que prestou suporte durante todo desenvolvimento da pesquisa. Através da aplicação do método de Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizando o modelo clássico CRS (CCR), orientado a outputs (maximizar saídas) realizou-se o estudo de caso longitudinal da eficiência da ferramentaria ao longo do ano de 2021. Os valores de eficiência máxima, mínima, média e desvio padrão do setor obtidos através do DEA, foram respectivamente: 100%, 67,02%, 92,22% e 8,22%. Quatorze semanas, DMU's, atingiram o valor máximo de eficiência, representando 28% do período avaliado. Ao total foram identificados oito incidentes críticos, sendo sete internos e um externo.

A análise de incidente crítico, utilizada no presente trabalho, gera uma visão diferenciada para a gestão da empresa, pois auxilia na identificação de incidentes que interferiram na eficiência do setor, mesmo não sendo possível comprovar através de cálculos matemáticos essa relação. A técnica de incidente crítico é uma avaliação qualitativa, realizada com base na experiência e conhecimento do grupo de estudo envolvido na pesquisa, é de interesse do setor dar continuidade na aplicação da ferramenta, e possivelmente, utilizar como um indicador gerencial.

A análise dos alvos e folgas permitiu a identificação dos valores de referências que cada output deveria alcançar para que todas as DMU's ineficientes se tornassem eficientes. Quantificou-se as oportunidades de melhoria para cada output, através da ordenação por representatividade das folgas de cada output, evidenciando para a gerência do setor quais variáveis devem ser tratadas com prioridade, por possuírem maiores impactos na eficiência técnica do setor.

É possível que a pesquisa apresente limitações quanto ao modelo DEA desenvolvido, uma vez que não se tem certeza de que todas as variáveis significativas para o modelo estão sendo consideradas. A pesquisa não teve como foco qualificar os resultados, analisar os pontos de melhoria e tomadas de decisões gerenciais. Durante o estudo não se abordou o tema de *benchmarking* externo, devido ao trabalho realizado avaliar a eficiência técnica do setor em relação ao *benchmarking* interno.

Como continuação da pesquisa, indica-se o desenvolvimento de um modelamento DEA que possibilite a utilização de dados de entradas, tanto *inputs* quanto *outputs* negativos, para contemplar os desvios de roteiros totais no modelamento. Visto que impactam diretamente a eficiência da ferramentaria. Em modelos clássicos, como o CRS, utilizado na pesquisa, não é possível utilizar valores negativos. Pesquisas futuras podem utilizar o modelamento proposto nesse trabalho para realizar análises de eficiência técnica de outras ferramentarias ou até mesmo, de outros setores dentro da empresa estudada.

REFERÊNCIAS

BARBERIO MARIANO, Enzo; ALMEIDA, Mariana; REBELATTO, Daisy. **Princípios básicos para uma proposta de ensino sobre análise por envoltória de dados.** [S. l.], 2006. DOI: 10.13140/2.1.2677.8566. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257409786>

BARBOSA, Luziane Machado; LACERDA, Daniel Pacheco; PIRAN, Fabio Antonio Sartori; DRESCH, Aline. Exploratory analysis of the variables prevailing on the effects of product modularization on production volume and efficiency. **International Journal of Production Economics**, [S. l.], v. 193, p. 677–690, 2017. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.08.028

BARTELSMAN, Eric; HALTIWANGER, John; SCARPETTA, Stefano. Cross-country differences in productivity: The role of allocation and selection. **American Economic Review**, [S. l.], v. 103, n. 1, p. 305–334, 2013. DOI: 10.1257/aer.103.1.305.

CARNERO, María Carmen. Multicriteria model for maintenance benchmarking. **Journal of Manufacturing Systems**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 303–321, 2014. DOI: 10.1016/j.jmsy.2013.12.006.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978. DOI: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.

CUMMINS, J. David; WEISS, Mary A. Analyzing Firm Performance in the Insurance Industry Using Frontier Efficiency and Productivity Methods. **SSRN Electronic Journal**, [S. l.], 2011. DOI: 10.2139/ssrn.1997468.

DE SOUZA, Iberê Guarani; LACERDA, Daniel Pacheco; CAMARGO, Luis Felipe Riehs; DRESCH, Aline; PIRAN, Fabio Sartori. Do the improvement programs really matter? An analysis using data envelopment analysis. **BRQ Business Research Quarterly**, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 225–237, 2018. DOI: 10.1016/j.brq.2018.08.002.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, José Antonio Valle Júnior. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. 1. ed. [s.l.] : Bookman, 2015. v. 1

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V; SARRICO, C. S.; SHALE, E. A. **Pitfalls and protocols in DEA**. [s.l: s.n.]. Disponível em: www.elsevier.com/locate/dsw.

HEIZER, Jay; RENDER, Barry. **Administração de Operações**. Bens e Serviços. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 20001.

KOSTAMO, Katri; JALLINOJA, Piia; VESALA, Kari Mikko; ARAÚJO-SOARES, Vera; SNIEHOTTA, Falko F.; HANKONEN, Nelli. Using the critical incident technique for qualitative process evaluation of interventions: The example of the “Let’s Move It” trial. **Social Science and Medicine**, [S. l.], v. 232, p. 389–397, 2019. DOI: 10.1016/j.socscimed.2019.05.014.

KUMAR, Ashok; ANTONY, Jiju; DHAKAR, Tej S. Integrating quality function deployment and benchmarking to achieve greater profitability. **Benchmarking: An International Journal**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 290–310, 2006. DOI: 10.1108/14635770610668794.

LIM, Sungmook; BAE, Hyerim; LEE, Loo Hay. A study on the selection of benchmarking paths in DEA. **Expert Systems with Applications**, [S. l.], v. 38, n. 6, p. 7665–7673, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.12.148.

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. **DEFINING AND MEASURING PRODUCTIVITY**. 1994.

PIRAN, Fabio Antonio Sartori. **MODULARIZAÇÃO DE PRODUTO E OS EFEITOS SOBRE A EFICIÊNCIA TÉCNICA: UMA AVALIAÇÃO EM UMA FABRICANTE DE ÔNIBUS**. 2015. Dissertação - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

PIRAN, Fabio Sartori; CAMANHO, Ana S.; SILVA, Maria Conceição; LACERDA, Daniel Pacheco. Internal Benchmarking for Efficiency Evaluations Using Data Envelopment Analysis: A Review of Applications and Directions for Future Research. *Em: Advanced Mathematical Methods for Economic Efficiency Analysis*. 1. ed. Gewerbestrasse: Springer, 2023. v. 692p. 143–162. DOI: 10.1007/978-3-031-29583-6_9.

PIRAN, Fabio Sartori; LACERDA, Daniel Pacheco; CAMANHO, Ana S.; SILVA, Maria C. A. Internal benchmarking to assess the cost efficiency of a broiler production system combining data envelopment analysis and throughput accounting. *International Journal of Production Economics*, [S. l.], v. 238, 2021. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108173.

PIRAN, Fabio Sartori; LACERDA, Daniel Pacheco; CAMARGO, Luis Felipe Riehs. **Análise e gestão da eficiência: Aplicação em sistemas produtivos de bens e de serviços**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SOUTHARD, Peter B.; PARENTE, Diane H. A model for internal benchmarking: When and how? *Benchmarking: An International Journal*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 161–171, 2007. DOI: 10.1108/14635770710740369.

TELLES, Eduardo Santos; LACERDA, Daniel Pacheco; MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta; PIRAN, Fabio Antonio Sartori. Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, [S. l.], v. 222, 2020. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.09.021.

Autores

Bianca Fogaça Moretto

Mestranda em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), onde também se graduou em Engenharia de Produção (2022).

Yuri Dias Hamdan

Mestrando em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), onde também se graduou em Gestão da Produção Industrial (2018-2022). É pesquisador do GMAP UNISINOS (Grupo de Pesquisa em Modelagem para Aprendizagem).

Fabio Antonio Sartori Piran

Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidades do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos com período de estudos na Universidade do Porto (Portugal). Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. Graduado em Logística pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. Formação Superior em Gestão de Produção pela Universidade Feevale. Coordenador Adjunto e Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS/UNISINOS. Coordenador do Grupo de Pesquisa em Modelagem para Aprendizagem - GMAP UNISINOS. Possui experiência em Tomada de Decisão baseada em Dados (Data Analytics) e Modelagem para Tomada de Decisão. Desenvolveu projetos em

empresas nacionais e multinacionais de calçados, componentes para calçados, artefatos, têxteis, metal mecânica, alimentação, varejo, aviação e da área da saúde. Obteve reconhecimento, por meio do Prêmio ABEPRO, de melhor dissertação de mestrado acadêmico em Engenharia de Produção no ano de 2015.



Artigo recebido em: 27/06/2024 e aceito para publicação em: 09/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i4.5321>