



EFICIÊNCIA E BENCHMARKING INTERNO: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA MONTADORA DE TRATORES COM A UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

EFFICIENCY AND INTERNAL BENCHMARKING: CASE STUDY IN A TRACTOR ASSEMBLY COMPANY USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Matheus Furlan da Silva* E-mail: nh_matheus@hotmail.com

Fábio Sartori Piran**  E-mail: fabiosartoripiran@gmail.com

Leandra da Silva**  E-mail: leandrapoa@yahoo.com.br

Bárbara Bender**  E-mail: barbarabender1997@gmail.com

*Universidade Federação dos Estabelecimentos de Ensino Superior em Novo Hamburgo (FEEVALE), Porto Alegre, RS, Brasil.

**Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Porto Alegre, RS, Brasil.

Resumo: O aumento da eficiência produtiva pode ajudar as empresas a melhorar a sua capacidade competitiva. Desta forma é importante o uso de técnicas robustas para uma medição e avaliação ampla da eficiência com o objetivo de dar suporte à tomada de decisão. Assim, este estudo tem como objetivo analisar a eficiência produtiva de uma empresa montadora de tratores. A análise foi feita longitudinalmente utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA). Os resultados obtidos mostram os escores de eficiência de cada mês analisado, baseado em benchmarking interno, e uma classificação das áreas da unidade produtiva analisada que mais necessitam de implementações de melhorias de desempenho. O benchmarking interno pode auxiliar na identificação das melhores práticas operacionais e essas práticas podem contribuir na identificação das melhores práticas para elevar a eficiência das operações ineficientes.

Palavras-chave: Eficiência. Análise envoltória de dados (DEA). Benchmarking. Indústria de Equipamentos agrícola. Metas e ganhos.

Abstract: Increasing production efficiency can help companies improve their competitive capacity. It is essential to use robust techniques for a broad measurement and evaluation of efficiency in order to support decision making. Thus, this study aims to analyze the productive efficiency of a tractor assembly company. The analysis was performed longitudinally using Data Envelopment Analysis (DEA). The results obtained show the efficiency scores of each analyzed month, based on internal benchmarking, and a classification of the areas of the analyzed production unit that most need implementation of performance improvements. Internal benchmarking can help identify best operational practices. The identification of best practices can help to increase the efficiency of inefficient operations.

Keywords: Efficiency. Data envelopment analysis (DEA). Benchmarking. Agricultural Equipment Industry. Goals and gains.

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas produtivos, a eficiência, passou a ser um atributo importante nas indústrias após a revolução industrial. Entretanto, nas últimas décadas isso se intensificou por causa do acirramento do mercado e internacionalização dos negócios. Dessa forma, é importante que as empresas conheçam sua própria eficiência e busquem a melhoria contínua de seus processos, pois dificilmente uma empresa com baixa produtividade ou baixa eficiência terá bons resultados ou até mesmo sobreviverá no mercado (Dresch *et al.*, 2019; Ferreira, 2019; Lepchak; Voese, 2020).

Deste modo, existe a necessidade de entender como a empresa transforma matérias-primas em produtos finais. Para que isso aconteça, os gestores precisam, lidar com uma grande quantidade de relatórios e informações para avaliar o desempenho de seu sistema (Camargo *et al.*, 2018; Silva, 2022; Cassarro, 2023). Para os autores Caleman *et al.* (2021), os gestores estratégicos das empresas enfrentam grandes desafios para controlar suas operações como, por exemplo o excesso de informações, o isolamento de informações e a imprecisão de informações (Leal; Lima; Maia, 2022; Gonçalves, 2022; Melo; De Oliveira, 2022; Caspers; Neiverth, 2022), tais fatos podem gerar baixa eficiência produtiva.

Empresas que operam com baixa eficiência produtiva, em geral, competem com baixas margens de lucro. Neste sentido, o uso de técnicas robustas para avaliação do desempenho interno nas organizações é essencial (Souza *et al.*, 2018b). Frente a esse cenário, o objetivo deste estudo é analisar a eficiência produtiva de uma empresa montadora de tratores. Os autores Barbosa *et al.*, (2019) apontam que a eficiência produtiva, pode ser analisada sob dois aspectos, eficiência técnica e eficiência de escala. Para esta pesquisa será utilizada a eficiência técnica sendo que, esta pode ser entendida como a habilidade de obter a máxima produção a partir de um determinado conjunto de insumos (Piran *et al.*, 2021). Destaca-se que não é objetivo desta pesquisa a análise financeira da empresa, dessa forma a eficiência alocativa e de custos /econômica não serão analisadas.

A empresa objeto de estudo opera no ramo de máquinas e implementos agrícolas produzindo tratores, colheitadeiras e pulverizadores. Compete no mercado por custo e qualidade de seus produtos com outras grandes empresas do setor, o que exige uma busca contínua pela melhoria da eficiência produtiva. Esta empresa possui

conhecimento da evolução da sua eficiência global ao longo do tempo, por meio de indicadores que analisam somente a eficiência da mão de obra fabril. Neste estudo optou-se, especificamente, por realizar um benchmarking interno, considerando a eficiência ao longo do tempo (longitudinal), pois a empresa não tem acesso a informações sobre o desempenho dos concorrentes no mercado Brasileiro e externo.

O benchmarking interno constitui em um importante mecanismo a ser utilizado em empresas (Souza *et al.*, 2018b; Briones-Veliz *et al.*, 2021). Essa avaliação interna possibilita uma visão real e abrangente da evolução da empresa em termos da eficiência ao longo do tempo, por exemplo. O desconhecimento da fronteira eficiente da empresa impossibilita que os gestores avaliem se a operação está utilizando adequadamente os recursos produtivos (Piran *et al.*, 2021). O benchmark interno possibilita compreender na própria empresa porque uma unidade de produção ou serviços apresenta resultados melhores que as demais (Briones-Veliz *et al.*, 2021).

A técnica utilizada na análise é o Método de Análise Envoltória de Dados (DEA). O DEA consiste em uma técnica baseada em programação linear tendo como objetivo medir o desempenho das unidades de tomada de decisão (DMU – Decision Making Units) (Piran *et al.*; 2021). A análise longitudinal com o uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) pode contribuir para um melhor entendimento sobre o atual posicionamento da fronteira eficiente da organização. Além disso, foi estabelecido um método para agrupamento de dados para composição das unidades de análise (DMUs) com base temporal mensal. É possível, dessa forma, identificar por meio das metas fornecidas pela análise do método DEA, quais fatores apresentam maior ineficiência no sistema.

Dessa forma, a pesquisa contribui para direcionar ações robustas quanto a melhoria da eficiência produtiva nas organizações. No âmbito acadêmico visa contribuir para o debate acerca dos métodos de análise da eficiência, acrescentando à literatura existente uma análise realizada com dados de uma montadora de tratores localizada no Rio Grande do Sul.

Os resultados obtidos mostram os escores de eficiência de cada mês analisado, baseado em benchmarking interno. Foi realizada a classificação das unidades produtiva que mais necessitam de implementações de melhorias de desempenho. O estudo oportunizou fornecer informações de qual variável necessita melhoria e qual o valor que esta precisa alcançar para tornar a DMU eficiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Benchmarking

O conceito de benchmarking é entendido como um processo contínuo e sistemático para avaliação de produtos, serviços e processos de trabalho em organizações reconhecidas pelas suas melhores práticas, com o propósito de buscar a melhoria organizacional (Finger *et al.*, 2022). Nesse contexto, o benchmarking é visto como um parâmetro de comparação entre o desempenho de organizações, produtos, processos e serviços.

Existem quatro classificações para o benchmarking que são utilizados pelas empresas: i) benchmarking interno; ii) benchmarking externo; iii) benchmarking funcional e iv) benchmarking genérico (Piran *et al.*, 2021). Na presente pesquisa, o modelo aplicado é o de benchmarking interno, o qual compara o desempenho de setores ou áreas internas de uma mesma organização. Podendo também ser usado para a comparação do desempenho de uma unidade de produção com ela mesma ao longo do tempo servindo de suporte a melhoria contínua (Piran *et al.*, 2021).

Os autores Briones-Veliz *et al.*, (2021) apontam a relevância de priorizar o benchmarking interno em relação ao externo visto que, um dos principais inconvenientes da avaliação externa é a dificuldade de conseguir informações confiáveis e de fácil acesso. No caso da empresa estudada, a avaliação interna consiste em uma alternativa necessária pois, sem esta técnica, a empresa não tem como comparar sua eficiência produtiva com as melhores práticas realizadas.

2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica não paramétrica baseada em programação linear matemática que tem sido utilizada na avaliação do desempenho das empresas (Piran *et al.*, 2021). Entre as vantagens do uso do DEA, está a não necessidade de desenvolver medidas padronizadas para as variáveis, pois pode incorporar múltiplas entradas e saídas, tanto no numerador como no denominador no cálculo de eficiência (Charnes; Cooper; Rhodes, 1978).

O objetivo principal em DEA é identificar quais as unidades de tomada de decisão (DMU) apresentam os melhores resultados e formam uma fronteira eficiente.

A eficiência de cada DMU é calculada como a razão entre a soma ponderada de seus produtos (saídas) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (insumos) (Telles *et.al.*, 2020; Belem *et al.* 2023). Neste caso, uma DMU eficiente terá como resultado o valor “1”. Ou seja, a eficiência é representada matematicamente com um indicador de desempenho, fazendo o cálculo da divisão entre o valor desse indicador e seu valor máximo teórico, tendo sempre como resultado um valor entre 0 e 1, ou em porcentagem, de 0% a 100% (Piran *et al.*, 2021). A Equação 1 reforça esse entendimento.

$$Eficiência = \frac{I}{I_{máx}} \quad (1)$$

Onde:

I: Indicador de desempenho atual;

Imáx: Máximo valor que pode ser alcançado nesse indicador.

Para as DMUs consideradas ineficientes, com o método proposto no modelo DEA, é possível identificar os parâmetros compostos em uma DMU eficiente e usar como referência para melhorias e tomadas de decisões. Esse procedimento é conhecido como benchmarking (Telles *et.al.*, 2020).

Além da definição das DMUs, para o uso do método DEA é necessário definir as variáveis com as quais serão trabalhadas no cálculo de eficiência. Recomenda-se que a quantidade de DMUs seja no mínimo três vezes maior que a soma das variáveis de entradas e saídas do modelo (Ferreira, 2019; Piran *et al.*, 2021). Também é possível orientar o modelo de análise para os insumos (input) ou para os produtos (output).

Além disso os modelos clássicos da DEA são o VRS (Retorno Variável de Escala - Variable Returns to Scale) e o CRS (Retorno Constante de Escala - Constant Returns to Scale) (Souza *et al.*, 2018a; Belem *et al.* 2023). O modelo VRS foi proposto para os casos em que as DMUs têm proporções diferentes e não há como avaliá-las sob os mesmos critérios de eficiência (Piran *et al.* 2020). O modelo CRS apresenta função de produção linear onde a inclinação da reta representa os rendimentos constantes de escala e as variações nas entradas (insumos) estão associadas a uma variação proporcional na saída (produtos) (Ferreira, 2019). O modelo utilizado para o

presente trabalho é o CRS. As equações (2, 3, 4) representam o modelo utilizado na análise.

$$MAX_{eff0} = \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \quad (3)$$

$$u_j \geq 0, \forall j \quad (4)$$

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

Onde:

$eff0$ = eficiência da DMU 0 em análise

u_j = peso calculado para o output j, j=1, ...m

v_i = peso calculado para o input i, i=1, ...n

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

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

y_{jk} = quantidade do output j para DMU k, k=1, ...n

x_{ik} = quantidade do input i para DMU k, k=1, ...n

k = número DMU em análise

m = número de outputs

n = número de inputs

Além da estimativa de eficiência de cada DMU, a DEA fornece os valores de referência que devem ser trabalhados nas DMUs ineficientes para cada entrada ou saída, esses valores são denominados Metas e Ganhos. Nesse sentido, os valores metas elevariam a eficiência da DMU ineficiente para o patamar de uma DMU eficiente. Para calcular a meta para uma determinada DMU é necessário realizar o produto da posição atual de um insumo pelo valor (λ) pertencente às DMUs de referência (benchmarking) (Piran *et al.*, 2021). A Equação 4 ilustra o modelo das metas.

$$Alvo = \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \quad (4)$$

Onde:

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

λ_k = contribuição da unidade k na formação da meta /ganho da DMU

Após a síntese teórica, são apresentados, os estudos precedentes e após os aspectos relacionados aos procedimentos metodológicos empregados para condução da pesquisa.

2.3 Estudos anteriores

A técnica DEA consolida-se como uma metodologia para cálculo da eficiência e eficácia e seu desenvolvimento ocorreu a partir do artigo de Michael James Farrel em 1957 (Ferreira; Gomes, 2020). Desde então vários artigos, utilizando essa metodologia foram publicados. Alguns exemplos desses trabalhos são representados no Quadro1.

Quadro1 – Estudos anteriores

Autor(ano)	Objetivos	Considerações
Piran <i>et al.</i> (2017)	Analisar os efeitos da implementação da modularidade de produtos na eficiência do processo produtivo de uma fabricante de ônibus.	Métodos DEA, ANOVA e CausallImpact. Os resultados mostram que os efeitos da modularidade na eficiência são positivos e significativos.
Zhang <i>et al.</i> (2018)	Medir o desempenho corporativo de 11.909 microempresas Chinesas, antes e depois de considerar as restrições energética.	Embora as restrições energéticas tenham reduzido o desempenho empresarial da amostra como um todo, os efeitos variam entre as empresas.
Papouskova <i>et al.</i> (2020).	Verificar a eficiência de empresas fabricantes de automóveis.	Modelos CCR e BCC da DEA. Modelo BCC mais aplicável às eficiências estabelecidas.
Piran <i>et al.</i> (2020)	Mensurar efeitos da modularidade de produtos na eficiência e produtividade de uma fabricante de ônibus	Por meio da DEA, teste U de Mann-Whitney e Índice de Malmquist, os resultados apresentaram aumento de 18,40% nos índices de eficiência.
Costa <i>et al.</i> (2022)	Utiliza a análise envoltória de dados estocástica como alternativa para estimativa de custos eficientes.	Propõe um algoritmo de estimativa no qual o número de empresas que atravessam a fronteira compreende um parâmetro importante.
Marques <i>et al.</i> (2023)	Explora a relações de compradores e fornecedores e seus impactos na produtividade do serviço.	Por meio da DEA os resultados mostram que a maximização dos insumos e produtos de alguns compradores não é ideal para o fornecedor.

Bobitan <i>et al.</i> (2023)	Explorar como as empresas agrícolas identificam e seguem os melhores profissionais do mercado. Benchmarking para fornecer insights sobre a sustentabilidade financeira das empresas.	Os resultados sugerem que ainda há trabalho a fazer e que as empresas que operam no sector agrícola apresentam uma elevada variação em termos de produtividade na perspectiva dos indicadores financeiros.
------------------------------	--	--

Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme apresentado no Quadro1 a técnica DEA é utilizada para mensurar a eficiência em diferentes setores/empresas como fabricantes de veículos (Piran *et al.*, 2017; Papouskova *et al.*,2020; Piran *et al.*, 2020), microempresas chinesas (Zang *et al.*, 2018), setor agrícola (Bobitan *et al.*, 2023), etc. No entanto pesquisas focadas em montadoras de veículos são escassas, fato este que amplia a necessidade de mais estudos sobre o tema. Já pesquisas com foco em montadoras de tratores não foram identificados na literatura justificando a relevância do presente estudo. Também, a presente pesquisa expande os conhecimentos sobre o tema ao utilizar a técnica DEA baseado em benchmarking interno visto que, a avaliações de eficiência baseadas em DEA são frequentemente associadas a benchmarking externo (Piran *et al.*, 2023).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa baseada em casos como abordagem metodológica foi assumida para o desenvolvimento do estudo. Os estudos de caso são indicados para investigar situações complexas no contexto em que estão inseridas, pois possibilitam maior profundidade na investigação e discernimento do problema, o que confirma o procedimento utilizado nessa pesquisa (Oliveira *et al.*, 2023). Assim, a metodologia foi realizada considerando as seguintes etapas: (i) contexto e definição das unidades de análise; (ii) definição do modelo DEA, variáveis e coleta de dados.

3.1 Contexto e definição das unidades de análise

A pesquisa foi realizada em uma empresa multinacional montadora de tratores agrícolas localizada no estado do Rio Grande do Sul. A empresa estudada conta com duas linhas de montagem de tratores, uma linha onde são montados tratores até 100 cavalos de potência e outra no qual são montados tratores com potência superior à 100 cavalos. A empresa não mede a eficiência produtiva de nenhuma de suas linhas

de montagem, apenas faz o uso do indicador de produtividade para avaliar o desempenho da linha produção.

Para o desenvolvimento do modelo DEA, inicialmente formou-se um grupo focal de especialistas da empresa para auxiliar na definição da linha de montagem a ser analisada, na orientação do modelo DEA, nas escolhas das variáveis utilizadas no modelo, nas coletas e tratamento dos dados e nas análises dos resultados. O grupo focal foi composto pelos profissionais apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Grupo focal de especialistas

Função	Apoio no Projeto	Tempo empresa (anos)
Técnico de logística	Apoio na coleta de dados de consumo de materiais	4 anos
Coordenador de produção	Apoio na definição das variáveis do modelo, coleta de dados do processo produtivo e interpretação dos dados	13 anos
Analista de custos	Apoio na coleta de dados sobre os custos de materiais consumidos	15 anos
Analista de PCP	Apoio na definição do modelo, validação do modelo e interpretação dos resultados	22 anos
Gerente de produção	Apoio na parametrização do modelo DEA e interpretação dos resultados	7 anos

Fonte: elaborado pelos autores

A escolha desses profissionais se justifica pela experiência e pelo conhecimento do processo avaliado. Por ser um grupo interdisciplinar, a pesquisa se beneficia tendo uma análise do ponto de vista de custos e de logística. Os autores Cook *et al.* (2014) defendem a utilização do grupo focal pois dessa maneira é impedido que se apresente resultados incoerentes à realidade da empresa.

Foram realizados dois encontros com o grupo focal com duração de aproximadamente 60 minutos cada. Estes tiveram como objetivo auxiliar na definição da linha de montagem a ser analisada, na orientação do modelo DEA, nas escolhas das variáveis utilizadas no modelo, nas coletas e tratamento dos dados e nas análises dos resultados. As reuniões foram conduzidas por um dos autores que instigou os participantes do grupo focal por meio de pontos a serem discutidos. Nessas reuniões foi viabilizado o acesso aos dados de produção também, o grupo focal colaborou com informações sobre a empresa para que fosse parametrizado o modelo DEA como, definição das DMU's, identificação dos *inputs* e *outputs*, definição do intervalo de coleta de variáveis, definição da orientação do modelo DEA e validações dos resultados após o cálculo de eficiência.

Na empresa estudada todas as unidades produzidas passam pelas etapas de usinagem, tratamento térmico, montagem do eixo traseiro, montagem do monobloco e eixo dianteiro e pela pintura. Até a etapa de pintura, está formado apenas o conjunto que é chamado “monobloco”, no qual consiste basicamente em motor, caixa de transmissão e eixos. Após a pintura, o conjunto monobloco é direcionado para a linha de montagem no qual está programado. O parque fabril possui duas linhas de montagem, as chamadas “Linha de Montagem Leve” e a “Linha de Montagem Pesada”. Os tratores com potência abaixo de 100 cavalos são direcionados para a Linha Leve, enquanto os tratores com potência acima de 100 cavalos são direcionados para a Linha Pesada.

O cálculo de eficiência foi realizado na área de Linha de montagem leve, pela maior disponibilidade de dados para as entradas e saídas do modelo DEA. O intervalo de tempo analisado foi de janeiro de 2014 a junho de 2018, totalizando 54 meses de dados para análise. A parametrização quanto a Unidade de Tomada de Decisão (DMU), definiu-se o lote mensal de produção pois, na unidade estudada, a consolidação e o fechamento dos dados são mensais.

Dessa maneira, levando em conta o horizonte de análise, o estudo teria 54 DMUs, das quais, 12 são referentes ao ano de 2014, 12 são referentes à 2015, 12 são referentes à 2016, 12 são referentes à 2017 e 6 são referentes à 2018. Ressalta-se que durante análise dos dados coletados, foi observado que a DMU 24, referente ao mês de dezembro de 2015 apresentou, na variável “Quantidade de Itens Produzidos” e “Horas de parada de Linha” valor 0 (zero). Constatou-se que essas variáveis apresentaram esse comportamento pois no mês referido a fábrica esteve parada por causa de férias coletivas. Para que essa DMU não fosse prejudicada, uma vez que se trata de uma parada programada, essa DMU foi retirada das análises e cálculos de eficiência, alterando o modelo de 54 DMUs para 53 DMUs.

3.2 Definição do modelo DEA, variáveis e coleta de dados

Definiu-se o modelo DEA CRS para análise por ser o modelo normalmente recomendado para análises de benchmarks internos (Piran *et al.*, 2021). Este modelo permite uma avaliação direta da eficiência global e identifica as origens das ineficiências encontradas, construindo uma superfície linear por partes (Finger *et al.*,

2022). Um ponto que corrobora para que seja usado o modelo CRS é o de que nessa pesquisa, as DMU's analisadas possuem escalas e amplitudes similares uma das outras, formando uma função de produção linear no qual a inclinação da reta representa os rendimentos constantes de escala (Piran *et al.*, 2021).

O modelo DEA tem duas opções em relação a sua orientação, podem ser orientados para *inputs* ou *outputs*. Os modelos orientados para *inputs* buscam identificar quais DMUs utilizaram menos recursos mantendo os níveis de *outputs*. Nesses casos, o objetivo do modelo é reduzir as entradas e manter as saídas constantes. Já os modelos orientados à *outputs* têm como objetivo encontrar quais DMUs alcançaram os melhores resultados em relação aos seus *outputs*, fixando seus *inputs*. Os modelos com a orientação para *outputs* têm como objetivo maximizar as saídas e manter as entradas constantes (Piran *et al.*, 2021). Por conta de não se ter, a nível operacional, controle sobre as saídas da empresa pois estas dependem da demanda de mercado, decidiu-se por um modelo orientado para input. A orientação à input está também de acordo com as metas da empresa que são, redução de custos operacionais e desperdícios.

A escolha das variáveis para essa pesquisa foi embasada em trabalhos sobre DEA tendo auxílio do grupo focal para que as variáveis escolhidas fossem possíveis de serem extraídas dos sistemas e planilhas da empresa. Foram consideradas apenas as variáveis que tivessem seu registro confiável durante todo o intervalo de tempo da análise. Dentre as variáveis, os recursos utilizados no processo foram definidos como input e os resultados da transformação desses recursos como output. Dessa maneira, a definição, unidade, base teórica e classificação de cada variável escolhida para o modelo DEA, está apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Definição, unidade, base teórica e classificação de cada variável do modelo DEA.

Variável	Descrição	Unidade	Base teórica	Classificação
Horas de produção normais	Somatório de tempo trabalhado de todos os colaboradores na linha de montagem analisada, não considerando horas extras	Hora (h)	Jain <i>et al.</i> , (2011); Von Gilsa, Lacerda, Camargo, Souza, & Cassel, (2017); Souza <i>et al.</i> , (2018ab); Park, Lee, e Zhu., (2014)	Input
Horas de produção excedidas	Somatório de tempo de horas extras trabalhadas de todos os colaboradores	Hora (h)	Jain <i>et al.</i> , (2011); Von Gilsa <i>et al.</i> , (2017); Souza <i>et al.</i> , (2018ab); Park <i>et al.</i> , (2014)	Input
Quantidade de pessoas no processo	Número de pessoas alocadas diretamente no processo estudado	Número (n)	Duzakin, Duzakin (2007); Piran <i>et al.</i> , (2018)	Input
Tempo de paradas gerais	Somatório de tempo de paradas de linha, por quaisquer motivos	Hora (h)	Jain <i>et al.</i> , (2011); Piran <i>et al.</i> , (2018)	Input
Custo de matéria prima	Custo total de matéria prima consumida no processo em análise	Reais (R\$)	Jain <i>et al.</i> (2011)	Input
Quantidade total de itens produzidos	Somatório do número de tratores sem defeitos apontados na saída de linha de montagem	Número (n)	Souza <i>et al.</i> , (2018ab); Cook <i>et al.</i> (2014), Piran <i>et al.</i> , (2018)	Output

Fonte: elaborado pelos autores.

As variáveis horas normais e horas extras são consideradas dois insumos diferentes pois possuem preços diferenciados. Dessa forma, uma análise separada produzirá dados para uma oportunidade de redução, visto que a empresa entende ser inevitável a geração de horas extras. As horas de produção normais foram calculadas somando o tempo trabalhado de todos os colaboradores na linha de montagem analisada e multiplicado pelas horas normais de uma jornada de trabalho diária. Enquanto, as horas extras foram extraídas de planilha do setor de RH, que controla as horas extras de cada unidade produtiva, para esta variável a empresa solicita entender como está a utilização desse recurso. Com relação a quantidade de pessoas no processo, a empresa gostaria de verificar a redução dessa variável na linha de produção. Então, contabilizar as horas trabalhadas e o número de pessoas, apesar de serem indicadores correlacionados, é importante pois possibilita a empresa promover ações diferenciadas para cada uma das variáveis. O tempo de paradas corresponde a um recurso controlável, dessa forma a empresa deseja verificar a possibilidade de mitigar essas paradas.

A coleta de dados iniciou após decidido quais variáveis a serem usadas e o intervalo de tempo definido para a análise. O Quadro 4 apresenta como foram extraídos os dados de cada variável.

Quadro 4 - Coleta de dados. Como foram extraídos os dados de cada variável

Variável	Coleta de dados
Horas de Produção Normais	Extraídas de planilha do setor de RH que controla os dias trabalhados no mês correspondente em cada setor da fábrica. Usado o valor de dias trabalhados multiplicado pelo número de pessoas no processo naquele mês e multiplicado pelas horas normais de uma jornada de trabalho diária.
Horas de produção excedidas	Extraídas de planilha do setor de RH, que controla as horas extras de cada unidade produtiva.
Quantidade de pessoas no processo	Extraído de planilha do setor financeiro que controla o número de pessoas alocadas em cada setor por mês. Esse controle existe para que seja feito o rateio contábil do custo de mão de obra para cada setor da fábrica.
Tempo de paradas gerais	Extraído de relatório da empresa, lista cada parada de linha, seja de poucos segundos ou de muitas horas. Esse relatório é usado para que seja adicionado o motivo da parada, podendo ser por manutenção, falta de matéria prima ou outros. Os dados foram tratados de maneira a somar todos os tempos de linha de produção parada para cada mês.
Custo de matéria prima	Extraídos de relatório da empresa, concentra todo o valor de estoque que foi reduzido para cada mês. Esse relatório concentra apenas o que foi consumido pela linha de produção estudada, demais consumos como garantias ou vendas para concessionárias foram isoladas e não contadas para essa pesquisa.
Quantidade total de itens produzidos	Somatório de tratores sem defeitos produzidos no mês. Os valores dessa variável foram extraídos do sistema da empresa que registra o horário e data de cada trator sem defeito registrado na última etapa da linha de montagem. Para essa variável, foi somado o valor acumulado de tratores montados por mês.

Fonte: elaborado pelos autores.

Após serem coletados todos os valores históricos de cada variável, estes foram combinados e tabelados em planilha eletrônica, sendo cada linha uma DMU a ser analisada. A Tabela 1 mostra as estatísticas descritivas, em relação a média anual dos dados coletados das variáveis consideradas na análise.

Tabela 1 - Média anual dos valores das variáveis do modelo DEA

Variável	Nome da variável	Média				
		2014	2015	2016	2017	2018
Input1	Horas normais (h)	22.914,3	19.103,2	13.017,5	10.697,7	9.942,5
Input2	Horas extras (h)	826,6	584,2	46,2	190,7	168,1
Input3	Número de pessoas (n)	157	129	97	87	91
Input4	Horas de parada de linha (h)	49.65,7	4.557,8	3.916,3	5.449,8	2.438,6
Input5	Custo de matéria prima (mi r\$)	96.830,3	75.120,0	57.355,0	99.137,7	116.530,4
Output1	Produtos produzidos (n)	1.428	1.204	860	752	747

Fonte: elaborada pelos autores.

Posteriormente, foi utilizado um software chamado SIAD v3.0 para o cálculo de eficiência de cada DMU. O software SIAD v3.0 apresenta valores referentes as metas e aos ganhos de cada variável para cada DMU ineficiente. Para essa pesquisa foi utilizado somente o resultado de eficiência padrão.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma melhor apresentação dos resultados a seção foi dividida em análise da eficiência padrão do processo produtivo e análise de metas e ganhos.

4.1 Análise da eficiência padrão do processo produtivo

O resultado da eficiência padrão está exposto na Tabela 2. Os resultados dos 53 meses de análise são apresentados em ordem cronológica. Cada mês representa uma Unidade de Tomada de decisão (DMU).

Na modelagem DEA, o resultado máximo de eficiência é o valor 1 e as DMUs que alcançam esse resultado são consideradas eficientes. Nesse sentido, ao avaliar a eficiência geral da unidade produtiva nesse período de tempo, pode-se considerar quais unidades obtiveram a eficiência máxima. Verifica-se que a linha de montagem analisada apresenta como medida o valor médio de eficiência do período de 0,926, e o maior resultado (1) encontrado em 16 DMUs.

Tabela 2 - Eficiência padrão da linha de montagem

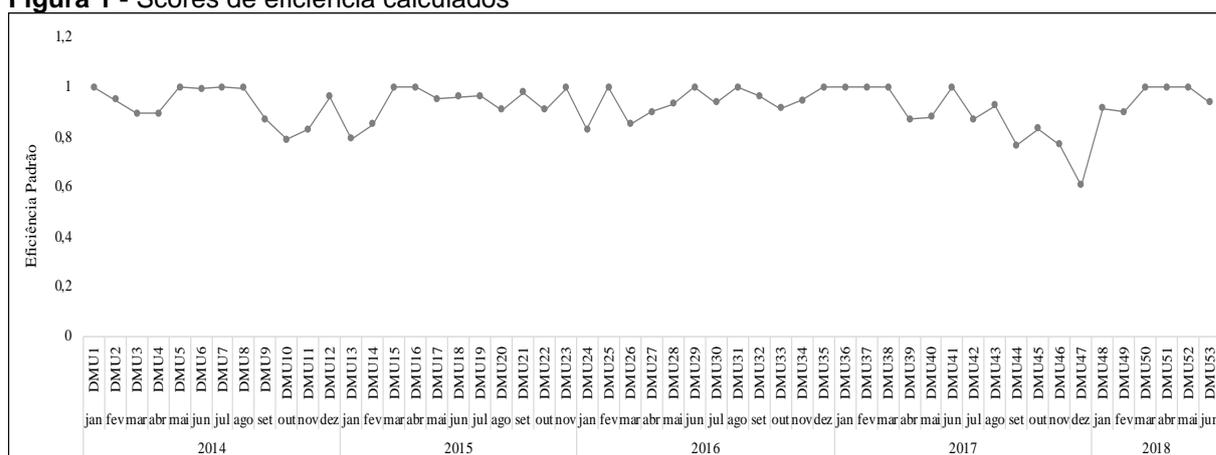
Mês de referência	DMU	Eficiência
janeiro/14	DMU1	1
fevereiro/14	DMU2	0,951563
março/14	DMU3	0,896215
abril/14	DMU4	0,894079
Mai/14	DMU5	1
junho/14	DMU6	0,995393
julho/14	DMU7	1
agosto/14	DMU8	0,996552
setembro/14	DMU9	0,871804
outubro/14	DMU10	0,792214
novembro/14	DMU11	0,831973
dezembro/14	DMU12	0,961168
janeiro/15	DMU13	0,792839

fevereiro/15	DMU14	0,851262
março/15	DMU15	1
abril/15	DMU16	1
maio/15	DMU17	0,952933
junho/15	DMU18	0,961536
julho/15	DMU19	0,965867
agosto/15	DMU20	0,90921
setembro/15	DMU21	0,980268
outubro/15	DMU22	0,909236
novembro/15	DMU23	0,997205
janeiro/16	DMU24	0,830212
fevereiro/16	DMU25	1
março/16	DMU26	0,852654
abril/16	DMU27	0,900267
maio/16	DMU28	0,934003
junho/16	DMU29	1
julho/16	DMU30	0,939313
agosto/16	DMU31	1
setembro/16	DMU32	0,965078
outubro/16	DMU33	0,91674
novembro/16	DMU34	0,948271
dezembro/16	DMU35	1
janeiro/17	DMU36	1
fevereiro/17	DMU37	1
março/17	DMU38	1
abril/17	DMU39	0,87134
maio/17	DMU40	0,880818
junho/17	DMU41	1
julho/17	DMU42	0,873423
agosto/17	DMU43	0,926642
setembro/17	DMU44	0,767968
outubro/17	DMU45	0,835776
novembro/17	DMU46	0,770009
dezembro/17	DMU47	0,607562
janeiro/18	DMU48	0,916948
fevereiro/18	DMU49	0,902477
março/18	DMU50	1
abril/18	DMU51	1
maio/18	DMU52	1
junho/18	DMU53	0,940024
Eficiência máxima:		1
Eficiência mínima:		0,607562
Média:		0,926242

Fonte: elaborado pelos autores.

A DMU de menor desempenho foi a DMU 47 (dez, 2017) com resultado 0.6075. Ao avaliar os valores de cada variável dessa DMU, observa-se que o número de tratores produzidos (output) nesse mês é o menor número produzido em todo o intervalo de tempo avaliado. Segundo o grupo focal, isso se deve ao fato de que nesse mês ocorreram testes de um novo modelo de trator a ser produzidos no ano seguinte, o que ocasiona reduções e desestabilização da eficiência da unidade produtiva. Se efetuado uma média anual da eficiência da linha analisada, obtêm-se os seguintes valores: 2014 - 0,93258; 2015 - 0,93821; 2016 – 0,94054; 2017 – 0,87779 e 2018 – 0,95991. Assim, é possível verificar que a eficiência média anual se apresenta estável. Além disso, é possível observar as variações do desempenho de cada DMU de maneira gráfica, o que facilita o entendimento do comportamento da eficiência no decorrer dos anos. A Figura 1 apresenta os scores de eficiência calculados.

Figura 1 - Scores de eficiência calculados

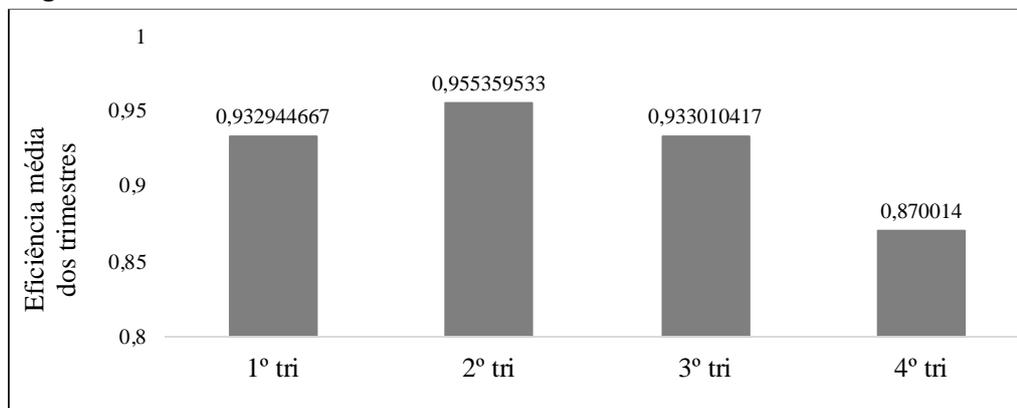


Fonte: elaborada pelos autores.

Verifica-se uma queda na eficiência nos meses de setembro, outubro e novembro de 2014. Essa queda é irregular na comparação entre os anos, ou seja, em 2015 ocorre uma queda no mês de novembro e em 2017 os meses que apresentaram queda foram abril, maio e dezembro. Ao analisar graficamente o comportamento da eficiência em cada ano, é possível notar uma relativa eficiência no desempenho da linha de montagem entre o primeiro e segundo trimestre. Seguida de uma desestabilização do desempenho do terceiro para o quarto trimestre de cada ano. Tal efeito tem relação ao fato de que, a estratégia dos gestores da operação é aumentar o nível dos estoques de produto acabado nos meses de abril a agosto pois o melhor período de venda de máquinas agrícolas se dá no fim do ano quando o agricultor

decide trocar de safra ou recebe algum subsídio do governo. Evidencia-se essa análise quando se observa as médias de eficiência para cada trimestre, conforme apresentadas na Figura 2.

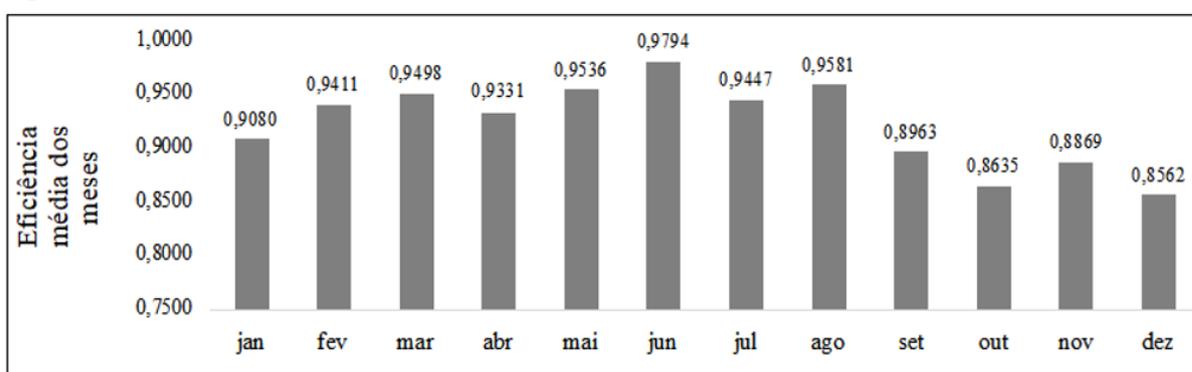
Figura 2 - Eficiência média trimestral



Fonte: elaborada pelos autores.

A Figura 2, aponta que em média, o 2º trimestre obteve o melhor desempenho quando comparado aos outros trimestres. No entanto, a maior sequência de DMUs de alto desempenho se passa do primeiro para o segundo trimestre onde a linha se manteve eficiente por 4 meses consecutivos. Ou seja, nas DMU's 35 (dez, 2016), 36 (jan, 2017), 37 (fev, 2017) e 38 (mar, 2017). O trimestre de pior desempenho no período é o 4º trimestre onde nenhum dos meses apresentam médias maiores que 0,89 conforme apresentado na Figura 3.

Figura 1 - Eficiência média mensal



Fonte: elaborada pelos autores.

Analisando o desempenho da linha de produção mensal (Figura 3), o mês que obteve melhor resultado é o mês de junho, no qual apresentou os resultados 0,995 em 2014 (DMU6), 0,962 em 2015 (DMU18), 1 em 2016 (DMU29), 1 em 2017 (DMU41)

e 0,94 em 2018 (DMU53), ficando sua média geral em 0,979. O mês de pior desempenho é o mês de dezembro que, mesmo apresentando 0,961 em 2014 (DMU12) e 1 em 2016 (DMU35), teve o pior desempenho do período analisado pois no ano de 2017 alcançou apenas 0,608 (DMU47) reduzindo sua média para 0,856, o que colaborou para que do 4º trimestre fosse a pior comparado aos outros trimestres. Para se identificar os valores de referências de cada input ou output é necessário analisar metas e ganhos.

4.2 Análise de Metas e Ganhos

Os valores metas são os valores teóricos de cada variável que elevariam a eficiência da DMU analisada e o ganho é a diferença entre o valor atual da DMU e o valor meta. O valor atual corresponde a eficiência geral da unidade produtiva do período de tempo analisado, ou seja, os valores apurados e apresentados na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta os valores das metas com os respectivos cálculos dos ganhos dos recursos da unidade produtiva.

Os dados apresentados na Tabela 3 são referentes às DMU's consideradas ineficientes na análise DEA, ou seja, são as que poderiam ter consumido menos recursos, uma vez que o modelo DEA definido é orientado a input. As DMU's eficientes que executaram as melhores práticas e consumiram os recursos de forma adequada não foram colocadas nessa avaliação pois os ganhos dessas DMU's resultam em 0 (zero), já que os valores metas de suas variáveis são iguais aos valores atuais.

Tabela 3 - Relação das metas e ganhos das DMU's ineficientes

		Horas Normais	Horas Extras	Nº de Pessoas	Hora de parada de linha	Custo de Matéria Prima	
DMU	Valores	Input1	Input2	Input3	Input4	Input5	Eficiência
	Atual	25426	622	162	4371	87757	0,951563
DMU2	Meta	24194	332	146	4159	83506	
	Ganho	1232	290	16	212	4251	
	Atual	21597	514	164	3622	125306	0,896215
DMU3	Meta	19356	1	131	3246	112301	
	Ganho	2241	513	33	376	13005	
	Atual	25626	471	160	11180	119115	0,894079
DMU4	Meta	22912	421	143	7854	106498	
	Ganho	2714	50	17	3326	12617	
	Atual	17322	1906	171	3073	64515	0,995393
DMU6	Meta	17242	461	110	3059	64218	

	Ganho	80	1445	61	14	297	
	Atual	28876	1864	172	3541	102842	0,996552
DMU8	Meta	28776	115	161	3529	102487	
	Ganho	100	1749	11	12	355	
	Atual	25813	736	147	6128	94865	0,871804
DMU9	Meta	22504	642	128	4961	82704	
	Ganho	3309	94	19	1167	12161	
	Atual	26715	178	145	5454	150131	0,792214
DMU10	Meta	21164	141	115	3512	118936	
	Ganho	5551	37	30	1942	31195	
	Atual	20812	350	133	6389	97465	0,831973
DMU11	Meta	17315	291	111	5315	81088	
	Ganho	3497	59	22	1074	16377	
	Atual	14405	75	134	5302	50229	0,961168
DMU12	Meta	13846	72	87	2438	48278	
	Ganho	559	3	47	2864	1951	
	Atual	14999	312	133	3993	73898	0,792839
DMU13	Meta	11892	65	93	3166	58589	
	Ganho	3107	247	40	827	15309	
	Atual	16758	567	133	6239	76090	0,851262
DMU14	Meta	14265	434	99	5311	64773	
	Ganho	2493	133	34	928	11317	
	Atual	21762	1458	135	3707	111290	0,952933
DMU17	Meta	20738	273	129	3533	106052	
	Ganho	1024	1185	6	174	5238	
	Atual	13453	640	129	1407	49579	0,961536
DMU18	Meta	12936	78	78	1353	47672	
	Ganho	517	562	51	54	1907	
	Atual	21871	0	131	2125	81396	0,965867
DMU19	Meta	19423	0	103	2052	72189	
	Ganho	2448	-	28	73	9207	
	Atual	20180	491	129	5333	71146	0,90921
DMU20	Meta	18348	446	113	4677	64687	
	Ganho	1832	45	16	656	6459	
	Atual	21398	443	129	5311	68103	0,980268
DMU21	Meta	20368	0	117	2508	66759	
	Ganho	1030	443	12	2803	1344	
	Atual	20605	287	129	7656	74465	0,909236
DMU22	Meta	18735	261	117	4009	67706	
	Ganho	1870	26	12	3647	6759	
	Atual	15659	120	120	3267	51496	0,997205
DMU23	Meta	15615	19	90	2021	51352	
	Ganho	44	101	30	1246	144	
	Atual	4323	1	120	787	23888	0,830212
DMU24	Meta	3589	0	25	653	19832	
	Ganho	734	1	95	134	4056	
	Atual	6506	111	95	2760	35887	0,852654
DMU26	Meta	5547	57	43	2353	30599	
	Ganho	959	54	52	407	5288	
	Atual	13148	10	94	2638	77652	0,900267
DMU27	Meta	11837	9	85	2375	69908	
	Ganho	1311	1	9	263	7744	
	Atual	12090	18	96	2965	57000	0,934003
DMU28	Meta	11292	17	89	2769	53238	
	Ganho	798	1	7	196	3762	
	Atual	13161	0	96	5156	51233	0,939313
DMU30	Meta	12362	0	90	2540	48124	

	Ganho	799	-	6	2616	3109	
	Atual	15472	29	96	7391	67149	0,965078
DMU32	Meta	14932	28	93	3303	64804	
	Ganho	540	1	3	4088	2345	
	Atual	15770	165	96	7971	74458	0,91674
DMU33	Meta	14457	151	88	4458	68259	
	Ganho	1313	14	8	3513	6199	
	Atual	15843	0	95	6753	74027	0,948271
DMU34	Meta	15023	0	90	1800	69732	
	Ganho	820	-	5	4953	4295	
	Atual	11865	115	94	7731	94127	0,87134
DMU39	Meta	10338	100	81	4852	82017	
	Ganho	1527	15	13	2879	12110	
	Atual	15577	283	95	7190	138223	0,880818
DMU40	Meta	13720	220	84	4847	121749	
	Ganho	1857	63	11	2343	16474	
	Atual	12439	188	83	6830	121389	0,873423
DMU42	Meta	10865	164	72	4658	92803	
	Ganho	1574	24	11	2172	28586	
	Atual	11380	30	82	5522	105594	0,926642
DMU43	Meta	10545	28	76	2482	97848	
	Ganho	835	2	6	3040	7746	
	Atual	8608	71	80	5506	87231	0,767968
DMU44	Meta	6611	55	53	2765	66893	
	Ganho	1997	16	27	2741	20338	
	Atual	8891	287	78	5895	106824	0,835776
DMU45	Meta	7431	164	65	4927	52099	
	Ganho	1460	123	13	968	54725	
	Atual	9510	317	78	7278	81457	0,770009
DMU46	Meta	7323	128	57	5027	46232	
	Ganho	2187	189	21	2251	35225	
	Atual	6052	49	90	2350	34056	0,607562
DMU47	Meta	3677	30	29	1428	20691	
	Ganho	2375	19	61	922	13365	
	Atual	5938	493	92	3026	88725	0,916948
DMU48	Meta	5445	279	84	2775	62912	
	Ganho	493	214	8	251	25813	
	Atual	10398	149	89	1823	134906	0,902477
DMU49	Meta	9384	40	74	1645	119078	
	Ganho	1014	109	15	178	15828	
	Atual	10000	43	93	2033	130819	0,940024
DMU53	Meta	9400	15	76	1911	122973	
	Ganho	600	28	17	122	7846	

Fonte: elaborado pelos autores.

Para discutir as metas e ganhos, é possível tomar a DMU2 que corresponde ao mês de fevereiro de 2014 como exemplo. O total de outputs (tratores produzidos) nesse mês foi de 1.555. No input 1, que corresponde à variável de Horas Normais, foram consumidas 25.426 horas (atual) naquele mês, enquanto seria possível ter sido consumidas 24194 horas (meta). Isso significa que poderia ter sido economizado 1.232 horas (ganho) que o valor do output permaneceria o mesmo caso a DMU fosse eficiente. No input 2 que representa as Horas Extras, foram consumidas 622 horas,

enquanto poderiam ter sido consumidas 332 e economizadas 290 horas. No input 3 que é o valor de Horas de Paradas de Linhas, o valor atual foi de 4.371 horas, podendo ter sido 41.59 horas, o que economizaria 212 horas.

Os valores de metas e ganho mostram onde, teoricamente, haveria maiores oportunidades de melhorias, então é possível fazer o uso do estudo de metas e ganhos para guiar os gestores nas decisões estratégicas da empresa. A Tabela 4 mostra, em ordem de importância, como pode ser feita essa análise.

Tabela 4 - Análise relativa dos ganhos por variável do modelo DEA

Variável	Nome da variável	Consumo no período	Somatório dos ganhos	Ganhos / consumo
Input2	Horas extras (h)	19.292	7.856,0	40,72%
Input4	Horas de paradas de linha (h)	235.910	55.434,8	23,50%
Input3	Número de pessoas (n)	5.929	871,8	14,70%
Input5	Custo de matéria prima (mi r\$)	4.531.687	424.748,6	9,37%
Input1	Horas normais (h)	819.285	5.6841,5	6,94%

Fonte: elaborado pelos autores.

A análise relativa dos ganhos das variáveis permite a avaliação das oportunidades de melhorias de cada uma das variáveis em relação às DMU's eficientes. A variável Horas Extras (input 2) aparece com um ganho relativo de 40,72%. Isso significa que seria possível melhorar, em média, 40,72% o percentual dessa variável com base nos melhores desempenhos obtidos durante o período da pesquisa.

Uma análise mais aprofundada da variável hora extra revela que seus valores máximo e mínimo tinham grande diferença em relação ao seu valor médio. Ao se fazer o cálculo do Coeficiente de Variação dessa variável obteve-se o resultado de 128,39%. Entendeu-se que essa alta variação pode ter sido a causa do alto valor de ganho relativa da variável, pois há meses em que há zero horas extras e meses em que há 1906 horas. Essa alta variação faz com que o modelo DEA entenda que é possível produzir os mesmos patamares de outputs com zero horas extras pois é o que ocorre em DMUs eficiente, como por exemplo as DMU's 25, 29, 31, 35 (fev, 2016; jun 2016; ago, 2016; dez 2016 respectivamente) onde os scores de eficiência obtidos foram 1.

Com relação as horas de parada de linha o resultado demonstra oportunidade de melhorias em torno de 23,50%. Por ser uma variável controlada pela gestão,

entende-se que algumas ações, caso ainda não estejam sendo feitas, tendem a trazer resultados positivos. Por exemplo, incluir ou rever as manutenções programadas das máquinas para evitar quebra ou mal funcionamento. Revisar o número de pessoas na linha de produção a fim de evitar falta de mão de obra. Incluir ou reforçar o controle de qualidade para evitar paradas devido as condições do produto.

As horas normais de produção e a quantidade de pessoas são recursos aos quais a empresa gostaria de verificar a utilização e/ou a possibilidade de redução. A análise relativa aos ganhos identificados na Tabela 4, permite a avaliação dessas oportunidades. As horas de produção apresentam possibilidades de melhorias em 6,94%. Enquanto foi revelado para a variável número de pessoas um nível de oportunidade de redução de 14,70%. Também, sugere-se a empresa atentar-se para o Custo dos insumos. Os resultados apontam para uma margem de redução de 9,37% nos custos de matéria prima. Uma melhor gestão na utilização desses materiais poderá gerar aumento nas margens de lucro da instituição.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa objetivou analisar a eficiência produtiva de uma empresa montadora de tratores. Para alcançar o objetivo proposto foi realizado um estudo com o uso da técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA), onde sua utilização mostrou-se ser um meio efetivo para a avaliação do comportamento da eficiência ao longo do tempo na organização estudada.

Após calculados os resultados de eficiência DEA para cada mês do horizonte de análise, constatou-se que a unidade produtiva obteve uma média de eficiência de 0,926 ao longo dos 53 meses analisados, e atingiu a eficiência máxima durante 30,2% do período analisado. Nesse sentido, a pesquisa contribui com a identificação das oportunidades de melhorias de cada variável baseado em benchmark interno, ou seja, baseado nas melhores práticas identificadas pelo modelo, por meio do estudo de metas e ganhos.

O estudo de metas e ganhos identificou os valores de referências de cada variável para todas as DMU's que foram identificadas como ineficientes. A variável mais distante de seu valor meta foi a Input 2 – Horas Extra. Essa análise contribui com os especialistas da empresa no sentido de fornecer informações de quão afastado da

fronteira eficiente está cada DMU ineficiente. O estudo fornece informação de qual variável necessita melhoria e qual o valor que esta precisa alcançar para tornar a DMU eficiente. Isso reduz o tempo de mapeamento do processo e identificação de perdas produtivas antes de iniciar qualquer projeto de melhoria. A pesquisa também pode proporcionar à empresa uma nova gestão de indicadores e metas a partir dos valores de metas das variáveis adicionadas ao modelo.

A análise relativa dos ganhos das variáveis permite a avaliação das oportunidades de melhorias de cada uma das variáveis em relação às DMU's eficientes. Isso significa que seria possível melhorar, em média, o percentual relativo de cada variável com base nos melhores desempenhos obtidos durante o período da pesquisa. Também, é possível fazer um estudo observando em quais DMU's cada variável obteve seu maior valor de folga relativa e então analisar o que ocorreu, no mês referente à aquela DMU, na unidade produtiva que fez com que a variável tivesse um mal desempenho.

Por mais que se tenha tentado construir um modelo o mais robusto possível, ainda assim essa pesquisa apresenta algumas limitações. Quanto a análise da eficiência, não foi possível realizar o cálculo da eficiência alocativa e de custos devido a indisponibilidade dos dados. Os dados de custos são estratégicos para a empresa, portanto sigilosos. Quanto ao modelo DEA utilizado, uma das limitações está ligada ao baixo número de variáveis de entrada utilizadas no modelo. Isso ocorreu por motivo de falta de disponibilidade de dados da empresa que, apesar de ter os dados históricos registrados, não autorizou que todos os dados solicitados para a pesquisa fossem usados para o cálculo, como por exemplo: i) part numbers de cada produto produzido; ii) número de problemas técnicos reportados e iii) cumprimento do prazo de entrega. Também, variáveis que pudessem ser usadas como indicador de qualidade (itens com defeito, retrabalho, etc.), não foram adicionadas ao modelo devido a empresa não disponibilizar de dados homogêneos e confiáveis. Entretanto, é importante ressaltar que, mesmo que seja adicionado ao modelo um número expressivo de variáveis, na utilização da técnica DEA não é possível ter certeza de que todas as variáveis relevantes estão sendo levadas em consideração (Cook *et al.*, 2014).

O presente estudo oferece oportunidade para a discussão de novas pesquisas ligadas ao comportamento e análise da eficiência produtiva ao longo do tempo em empresa de manufatura. Pesquisas futuras podem realizar análises de eficiência e de

metas e ganhos em outras organizações da mesma maneira como aplicada nessa pesquisa. Sendo o objetivo desse trabalho analisar a eficiência produtiva de uma empresa montadora de tratores, nos resultados limitou-se a desenvolver o modelo e analisar a eficiência. Dessa forma, sugere-se novas pesquisas com o intuito de elaborar um plano de ação com base nos resultados e também análises quanto a sazonalidade do negócio.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. L. DE S., TOMAZ, D. A. S.; AZEVEDO, A. A. Análise da eficiência dos serviços de saneamento prestados nos municípios da região metropolitana de belo horizonte com a utilização do método análise envoltória de dados. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v.5, n.1, p.101-121, 2019. Disponível em:

https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N01_06

BELEM, M. J. X.; VIEIRA JUNIOR, M.; PIRAN, FABIO A.S. Eco-efficiency Evaluation of Thermal Spraying Processes using Data Envelopment Analysis. **Process Integration And Optimization For Sustainability**, v. 8, p. 1-14, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41660-023-00377-0>

BOBITAN, Nicolae; DUMITRESCU, Diana; BURCA, Valentin. Agriculture's Efficiency in the Context of Sustainable Agriculture—A Benchmarking Analysis of Financial Performance with Data Envelopment Analysis and Malmquist Index. **Sustainability**, v. 15, n. 16, p. 12169, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151612169>

BRIONES-VELIZ, T.G.; CARVAJAL-AVILA, D.A.; SUMBA-BUSTAMANTE, R.Y. **Polo del Conocimiento**. vol. 6, n. 3, p. 2026-2044, 2021. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926897>

CASSARRO, A. Carlos. **Sistemas de informações para tomada de decisões**. 4 edição. Cengage Learning, 2023.

CALEMAN, G. *et al.* **O planejamento estratégico situacional em tempos de crise**. Planejamento e Gestão, p. 40, 2021. Disponível em: https://www.mpgp.br/portal/arquivos/2021/06/22/13_15_07_622_covid_19_volum_e2_1.pdf#page=41

CAMARGO, L. F. R.; RODRIGUES, L. H.; LACERDA, D. P.; Piran, F. S. A method for integrated process simulation in the mining industry. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 3, p.1116-1129, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.013>

CASPERS, C. F.; NEIVERTH, R. N. S. **A Falta de Informações Contábeis Gerenciais na Gestão de Micro e Pequenas Empresas Luverdenses**. Epitaya. E-

books, [S. I.], v. 1, n. 25, p. 71-91, 2022. DOI: 10.47879/ed.ep.2022663p71.
Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/600>.
Acesso em: 1 abr. 2023.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E.L. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v.2, n.6, p.429-444, 1978. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

COOK, W.D; TONE, K.; ZHU, J. Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. **Omega**, v.1, n.44, p.1-4, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.004>

COSTA, Marcelo Azevedo; SALVADOR, Cláudio Vítor Maquiné; DA SILVA, Aline Veronese. Stochastic data envelopment analysis applied to the 2015 Brazilian energy distribution benchmarking model. **Decision Analytics Journal**, v. 3, p. 100061, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100061>

DRESCH, A.; VEIT, D.R.; DE LIMA, P.N.; LACERDA, D.P.; COLLATTO, D.C. Inducing Brazilian manufacturing SMEs productivity with Lean tools. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 68, n.1, p.69-87, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2017-0248>

DUZAKIN, E.; DUZAKIN, H. Measuring the performance of manufacturing firms with super stacks-based model of data envelopment analysis: An application of 500 major industrial enterprises in Turkey. **European Journal of Operational Research**, v.182, n.3, p.1412-1432, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.09.036>

FERREIRA, D. H. L. Análise da sustentabilidade de empresas: uma aplicação da análise envoltória de dados. **Revista Produção Online**, [S. I.], v. 19, n. 1, p. 3–20, 2019. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3439>.
Acesso em 01 abr. 2023.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18222/eae.v33.9103>

FINGER, M.; LACERDA, D. P.; CAMARGO, L. F.; PIRAN, FABIO ANTONIO SARTORI; CASSEL, R.; WOLF MOTTA MORANDI, MARIA ISABEL. Impacts of marketing decisions on delivery performance and flexibility of the operations area. **The International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 71, p. 3395-3416, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-05-2020-0238>

GONÇALVES, M. P. V. **Navigating in the Digital Swamp**: Avaliação da propensão de PMEs para online marketplaces. Dissertação de mestrado, Iscte - Instituto

Universitário de Lisboa. Repositório Iscte, 2022. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/10071/26275>.

JAIN, S.; TRIANTIS, K.P; SHIYONG, L. Manufacturing performance measurement and target setting: A data envelopment analysis approach. **European Journal of Operational Research**, v.214, n.3, p.616-626, 2011. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.028>

LEPCHAK, A.; VOESE, S. B. Evaluation of the efficiency of logistics activities using Data Envelopment Analysis (DEA). **Gestão & Produção**, v.27, n.1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530x3371-20>

MARQUES, Rafael *et al.* Exploring outsourcing service productivity from the buyer and supplier perspective: A case analysis in the fleet maintenance industry. **Operations Management Research**, v. 16, n. 2, p. 853-867, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-022-00333-0>

MELO, R.; DE OLIVEIRA, S. 03 Definições de Goal Programming. **Aplicações de Goal Programming no suporte à decisão: Projetos Integrados em Engenharia de Produção**, p. 15. Belo Horizonte: Poisson, 2020. Disponível em: https://www.poisson.com.br/livros/individuais/Goal_Programming/Goal_Programming.pdf

OLIVEIRA, L. C. F. de; BARROS, M. J. de; SOUSA, M. A. D. M. A.; HUBER, N.; SANTOS dos, K. T.; GOMES, S. M. S. A importância da leitura na formação de uma aprendizagem significativa. **Revista Internacional de Estudos Científicos**, v. 2, n. 1, p.71-97, 2023. Disponível em: <https://periodicos.educacaotransversal.com.br/index.php/riec/article/download/117/117>

PAPOUSKOVA, K., TELECKY, M., CEJKA, J. Process efficiency analysis of selected automotive companies in Europe. **Communications**, v.22, n.4, p. 20-27, 2020. Disponível em: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1120580>

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**, n.156, p. 214-222, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.06.012>

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. Rio de Janeiro: Fólio Digital, 2021.

PIRAN, F.A.S.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; VIERO, CF.; TEIXEIRA, R.; DRESCH, A. Product modularity and its effects on the production process: an analysis in a bus manufacturer. **International journal of advanced manufacturing technology**, v. 88, p. 2331-2343, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-016-8906-8>

PIRAN, F.A.S.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; DRESCH, A. Effects of product modularity on productivity: an analysis using data envelopment analysis and Malmquist index. **Research in Engineering Design**, n.31, p.143-156, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00163-019-00327-3>

SILVA, S.W.C. **Gestão de custos no processo de governança dos Conselhos de Fiscalização Profissional: uma ferramenta para a tomada de decisão no Sistema COFEN/COREN**. S. 2022. 62 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/44868>

SOUZA, I.G.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; DRESCH, A.; PIRAN, F.S. Do the improvement programs really matter? An analysis using data envelopment analysis. **BRQ Business Research Quarterly**, v. 21, n. 4, p.225-237, (2018a). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.brq.2018.08.002>

SOUZA, I.G.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; DRESCH, A.; PIRAN, F.A.S. Efficiency and internal benchmark on an armament company. Benchmarking: **An International Journal**, n. 25, v. 7, p.2018-2039, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2016-0128>

TELLES, E.S.; LACERDA, D.P.; MORANDI, M.I.W.M.; PIRAN, F.A.S. 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**, n. 222, 107500, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.021>

VON GILSA, C.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; SOUZA, I.G.; CASSEL, R.A. Longitudinal evaluation of efficiency in a petrochemical company. **Benchmarking: An International Journal**, v.24, n.7, p.1786-1813, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2016-0044>

ZHANG, Linling; LONGO, Ruyin; CHEN, Hong; HUANG, Xin Rug. Performance changes analysis of industrial enterprises under energy constraints. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 136, p. 248-256, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.032>

AUTORES

Matheus Furlan da Silva

Graduação em Gestão da Produção Industrial pela Universidade Feevale e Graduação em Engenharia da Produção pela Universidade Feevale.

Fábio 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 Universidades do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. Graduado em Logística pela Universidades do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. Formação Superior em Gestão de Produção pela Universidade Feevale.

Leandra da Silva

Doutoranda em Ciências Contábeis pela Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS) com bolsa de estudos pelo programa Capes/Prosup. Componente do grupo de pesquisa Mercados e Competitividade de Instituições de Ensino Superior, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Possui graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Federal de Santa Catarina (2015).

Bárbara Bender

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Feevale (2020) e ensino-médio-segundo-grau pelo Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (2015). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrotécnica.



Artigo recebido em: 03/11/2023 e aceito para publicação em: 15/02/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i4.5055>