

## INTEGRAÇÃO DO BALANCED SCORECARD COM O DATA ENVELOPMENT ANALYSIS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE EMPRESAS DO APL DO GESSO

## INTEGRATION OF THE BALANCED SCORECARD WITH THE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS FOR PERFORMANCE EVALUATION OF COMPANIES IN THE GYPSUM APL

Pedro Vieira Souza Santos<sup>1</sup>, Andrea de Vasconcelos Ferraz<sup>2</sup>, Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> [Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil](#) <sup>3</sup> [Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil](#)

<sup>1\*</sup> [pedrovieirass@hotmail.com](mailto:pedrovieirass@hotmail.com) <sup>2</sup> [andrea.ferraz@univasf.edu.br](mailto:andrea.ferraz@univasf.edu.br) <sup>3</sup> [tharcylla.clemente@ufpe.br](mailto:tharcylla.clemente@ufpe.br)

\*Autor Correspondente: Santos, P.V.S.

**RESUMO:** A princípio, o Balanced Scorecard (BSC) pode trazer informações relevantes do ponto de vista dos indicadores de desempenho. Contudo, sua aplicação isolada reduz a qualidade dos resultados obtidos em sua estrutura. Isto posto, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o desempenho operacional e gerencial das PME atuantes no APL do Gesso pernambucano, tendo em vista a escassez de referências de apoio aos processos gerenciais dessas empresas. Para isso, a integração da abordagem proposta pelo BSC com a técnica de Análise Envolvória de Dados (DEA), pode quantificar os conceitos qualitativos incorporados na abordagem BSC e oferecer diretrizes adequadas para as PME estudadas. Metodologicamente, aplicou-se o modelo DEA BCC orientado ao input para avaliação do desempenho de dezesseis PME. O resultado gerado pelo Software for Data Envelopment Analysis (SDEA®) indicou cinco empresas como eficientes (A, D, E, J, N), pois obtiveram score ( $\theta$ ) máximo, isto é, igual a um (1,0) na avaliação. Além disso, como forma de incrementar a análise, considerou-se a eficiência invertida, que é uma abordagem do tipo pessimista das DMU. Para o cálculo desse score, faz-se uma troca dos inputs com os outputs considerados no modelo original e percebeu-se como anti-benchmark as empresas A, B, M, G, O e I. Logo, pôde-se concluir que o modelo DEA aplicado no contexto das empresas calcinadoras do APL, apresentou-se como uma ferramenta útil e prática para avaliar a eficiência dessas organizações.

**PALAVRAS CHAVE:** Balanced Scorecard; Análise envoltória de dados; Gesso.

**ABSTRACT:** At first, the Balanced Scorecard (BSC) can bring relevant information from the point of view of performance indicators. However, its isolated application reduces the quality of the results obtained in its structure. That said, the general objective of this research was to evaluate the operational and managerial performance of the SMEs operating in the APL of Gypsum in Pernambuco, in view of the scarcity of references to support the managerial processes of these companies. For this, the integration of the approach proposed by the BSC with the Data Envelopment Analysis (DEA) technique can quantify the qualitative concepts incorporated in the BSC approach and offer adequate guidelines for the studied SMEs. Methodologically, the input-oriented DEA BCC

model was applied to evaluate the performance of sixteen SMEs. The result generated by the Software for Data Envelopment Analysis (SDEA®) indicated five companies as efficient (A, D, E, J, N), as they obtained a maximum score ( $\theta$ ), that is, equal to one (1.0) in the assessment. In addition, as a way to enhance the analysis, the inverted efficiency was considered, which is a pessimistic approach to DMUs. To calculate this score, the inputs were exchanged with the outputs considered in the original model and companies A, B, M, G, O and I were perceived as anti-benchmark. DEA model applied in the context of calcinating companies of the Cluster, presented itself as a useful and practical tool to evaluate the efficiency of these organizations.

**KEYWORDS:** Balanced Scorecard; Data Envelopment Analysis; Gypsum.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações das empresas modernas concentra-se na aquisição de informações, ferramentas e estratégias que conduzam as organizações a obterem contextos favoráveis para a sobrevivência de seus negócios, no mercado competitivo (Weissenberger-Eibl et al., 2019; Santos; Silva, 2019; Oliveira et al., 2023). Nesse cenário, é importante enfatizar o papel das Pequenas e Médias Empresas (PME) no que diz respeito a estabilização da economia, bem como o papel estratégico que os administradores desses negócios desempenham na gestão contemporânea (Machado; Santos, 2020).

No caso das PME, a sobrevivência do mercado é um aspecto relevante que requer atenções específicas quanto ao custo envolvido, a tecnologia disponível, a qualificação da mão de obra, as particularidades dos processos internos, os riscos assumidos (financeiros e não financeiros), o relacionamento entre os variados stakeholders envolvidos nos negócios, dentre outras limitações (Mikušová, 2017; Oliveira et al., 2024).

As PME podem contribuir para a economia com a geração de novos empregos, e podem ser vistas como uma fonte de inovação, sendo responsável por fomentar a produtividade (BELÁS et al., 2018), o que é muito importante para países de todo o mundo. Nesse cenário, no setor de mineração há empresas de todos os portes em atuação, atendendo a crescente demanda do mercado por minérios (Aznar-Sánchez et al., 2018). Em destaque, a atividade de exploração mineral da gipsita, a principal matéria prima para o gesso, apresenta particularidades de impactos empresarial e socioeconômico significativos para o mercado brasileiro (Dorin et al., 2014; Santos Filho et al., 2020).

O Arranjo Produtivo Local (APL) de Gesso, localizado no extremo oeste do Estado de Pernambuco, recebe destaque pelo volume e pela qualidade de produção,

que atende 95% da demanda nacional (ITEP, 2019), sendo considerado o de melhor qualidade no Brasil, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 2017). Nesse cenário, apesar do potencial de extração da gipsita e processamento do minério para fabricação do gesso, demonstrado pelas estatísticas de órgãos oficiais e por publicações técnico-científicas na área (ITEP, 2017), há ainda uma dificuldade de nivelamento do desempenho operacional e gerencial das empresas da região do APL de Gesso pernambucano.

Contudo, essa dificuldade de avaliar o nivelamento das empresas pode ser tratada pela análise de eficiência de desempenho, baseada em indicadores comuns. A representação de perspectivas para esse tipo de análise pode ser conduzida, portanto, pelo auxílio de ferramentas de gestão como o Balanced Scorecard (BSC) (Kaplan; Norton, 1996). Essa ferramenta é capaz de vincular as operações diárias de uma organização a seus objetivos estratégicos de longo prazo, resultando em uma ferramenta de controle estratégico por excelência, baseado no aumento da competitividade e da produtividade (Giannopoulos et al., 2013).

Segundo Shafiee et al. (2014) apenas o emprego do BSC para avaliar desempenhos organizacionais não é suficiente, pois ele não aborda, de forma estruturada, a subjetividade dos gestores. Dessa forma, é adequado que seja proposta sua integração com outro método de avaliação para se obter um resultado mais concreto, pautando-se em análises estruturadas em dados numéricos e interação matemática, inclusive. Para esse caso, a Análise Envoltória de Dados (do inglês, Data Envelopment Analysis - DEA) (Charnes et al., 1978), é uma técnica, baseada no modelo de programação matemática e não paramétrica que permite os gestores julgarem a eficiência de um sistema, pela relação de entradas e saídas de recursos. Em adição, a DEA pode medir a capacidade operacional de uma unidade tomadora de decisão (Decision Making Unit - DMU) e evitar desperdício de insumos, produzindo um nível de produção por um menor custo, a partir da possibilidade de combinar insumos e produtos em proporções melhoradas (Stavarek; Repkova, 2012).

Entende-se que o BSC e a técnica DEA são complementares entre si, conforme apontam Chiang e Lin (2009). O BSC pode fornecer resultados apropriados sobre o desempenho de unidades para o DEA. Esses resultados configuram-se nos indicadores categorizadas pelas perspectivas do framework. Por outro lado, a DEA pode definir benchmarking para empresas com base em suas entradas e saídas, bem como transformar medidas de desempenho em informações gerenciais.

Apesar das particularidades estruturais e de processos das empresas do APL de Gesso, há estimativas de incorporação de perspectivas estratégias de gestão sobre seus processos produtivos a fim de responder sobre a eficiência do sistema de produção e apontar possibilidades de melhoria em termos de efetividade, qualidade e desempenho (Santos et al., 2019). Para tal, o uso do BSC e da DEA nos estudos sobre o desempenho operacional de organizações é pertinente, em especial para contextos de Pequenas e Médias Empresas. Logo, isto posto, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o desempenho operacional e gerencial das Pequenas e Médias Empresas (PME) atuantes no APL do Gesso em Pernambuco através da integração das perspectivas do Balanced Scorecard (BSC) e da Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA). No caso do APL gesseiro em Pernambuco, trata-se de uma proposta metodológica (DEA/BSC) inédita.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nesse tópico abordam-se os principais conceitos ligados à temática da pesquisa.

### **2.1 ASPECTOS GERENCIAIS DAS PME DO APL DE GESSO DE PERNAMBUCO**

A prática de mineração, em geral, está entre as atividades humanas com os maiores impactos ambientais e sociais. Nesse sentido, o setor de mineração e suas indústrias possuem papel estratégico no fornecimento de muitas das matérias primas para os diversos setores da economia (Fernandez-Lozano et al., 2015). Um dos minérios que é extraído em diversos países é a Gipsita. Gipsita (Sulfato de Cálcio di-hidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é um mineral presente na natureza em abundância, com jazidas exploráveis em muitos países (Carvalho, 2017). Dentre os maiores produtores do mineral, a China destaca-se com mais de 30% do total produzido no mundo. Na América do Sul, o Brasil é identificado como o maior produtor, estabilizando-se como um dos 15 maiores do mundo, segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME) (Fernandes et al., 2021; Santos et al., 2025).

No território brasileiro, as empresas exploradoras de Gipsita estão concentradas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Em Pernambuco, as empresas atuantes neste setor formam o Arranjo Produtivo Local (APL) de Gesso, em que indústrias

extratoras/mineradoras, indústrias de calcinação, e indústrias manufatureiras de artefatos produzidos com gesso, concentram-se geograficamente no extremo oeste do Estado (Araújo, 2011).

As PME mantêm estruturas organizacionais centralizadas, muitas vezes conduzidas por contratos de trabalhos informais, e limitações financeiras e não financeiras que impactam no processo de gerenciamento de recursos em perspectivas estratégicas. Uma das principais características que destacam a exploração da Gipsita no APL citado é o alto nível de qualidade da composição química da matéria prima, com teor de pureza entre 80% e 95% quando comparada com o mineral em outras localidades do mundo (Gartner, 2009; Andrade et al., 2024).

Barbosa et al. (2014) apontam que, embora o minério tenha alta qualidade comprovada tecnicamente e seja abundante na região, os processos de fabricação ainda apresentam defasagem quanto a exploração das propriedades técnicas do material, somando-se ao fato do produto possuir um valor agregado relativamente baixo. Essas considerações demandam atenções aos aspectos gerenciais das PME atuantes no setor quando preocupadas com a sobrevivência dos negócios no mercado competitivo.

Nesse sentido, indicadores que abranjam a performance das operações internas são úteis para avaliação estratégica. Como incentivo, observam-se as limitações das PME que atuam no APL como potenciais de obtenção de aprendizado e posterior crescimento. Assim, aspectos como a estruturação das operações internas, redução de desperdícios e inovação devem ser vistas como oportunidades (Gomes, 2006).

A contextualização e as principais preocupações gerenciais das PME do APL de Gesso concentram atenções para a definição de indicadores de desempenho que respondam satisfatoriamente ao contexto e medidas estabelecidas para essas empresas. Dantas et al. (2016) citam que grande parte do montante extraído por mineradoras no APL de Gesso de Pernambuco, é vendida sem processamento ou somente após o processamento básico (calcinação). Entretanto, Baltar et al. (2006) salientam que o beneficiamento do minério de Gipsita, para posterior fabricação de gesso, tem variação conforme o tipo de produto, a tecnologia empregada e a capacidade técnica/operacional da empresa.

Pelas restrições da estrutura de pequeno porte da maioria das empresas, a deficiência ou a ausência de informações que conduzam as estratégias de negócios a diretrizes de sobrevivência no mercado competitivo, são evidentes. A literatura

apresenta variadas soluções de apoio gerencial aplicadas, com sucesso, ao contexto de grandes empresas, tendo em vista a facilidade de aquisição de recursos, mão de obra e tecnologias, se comparado com as pequenas empresas. Diante do sucesso dessas soluções, é oportuno adaptá-las para que possam oferecer benefícios gerenciais e estratégicos para as PME (Malagueño et al., 2018).

## 2.2 BALANCED SCORECARD (BSC)

O Balanced Scorecard (BSC), segundo Kaplan e Norton (1992), é uma das ferramentas de avaliação de desempenho capaz de converter os ativos intangíveis de uma organização, como cultura e conhecimento, em resultados tangíveis, considerando a definição de indicadores de desempenho sob quatro perspectivas: (i) perspectiva financeira, (ii) perspectiva do cliente, (iii) perspectiva do processo interno e (iv) perspectiva do aprendizado e crescimento.

A estrutura do BSC oferece uma visão holística e recomendações estratégicas baseadas em uma série coerente e vinculada de objetivos e direcionadores de desempenho, a partir de perspectivas financeiras e não financeiras (De Geuser et al., 2009). As descrições de cada perspectiva podem ser consideradas como:

- Perspectiva financeira: nesta, os gestores buscam avaliar o desempenho financeiro derivado do capital investido e, para isso, utilizam indicadores contábeis-financeiros tradicionais com o objetivo de avaliar os resultados na esfera financeira de curto e médio prazo da empresa (Kaplan; Norton, 1996);

- Perspectiva de processo interno: baseia-se no conceito de cadeia de valor, o que inclui processos necessários para entregar o produto e/ou serviço final. Além dos tradicionais processos operacionais e serviços pós-venda, processos inovadores podem ser adicionados na avaliação dessa perspectiva. Papenhausen e Einstein (2006) afirmam que os processos internos são pontos críticos e que direcionam à satisfação dos clientes e, eventualmente, ao resultado financeiro;

- Perspectiva do cliente: neste pilar, a organização deve definir segmentos de mercado e/ou clientes para quem o produto ou serviço será designado. Essa perspectiva refere-se principalmente a como a empresa pode criar grandes valores fundamentais para o cliente por meio de políticas e ações (Epstein; Wisner, 2001);

- Perspectiva de aprendizado e crescimento: esta perspectiva identifica os ativos intangíveis que são cruciais para a estratégia da empresa. Contém os objetivos

associados ao desenvolvimento e retenção do conhecimento e recursos humanos da empresa (Park; Gagnon, 2006).

Nesse caso, os indicadores definidos para cada uma das perspectivas devem ser consistentes e validados para o contexto de aplicação, pois os resultados satisfatórios da ferramenta dependem do reforço mútuo e integrado dos indicadores que asseguram a adequação ao contexto.

## **2.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (Data Envelopment Analysis – DEA)**

A partir dos sistemas de medição de desempenho, considerando as entradas e saídas como medidas relativas à produtividade das operações, pode-se explicar se uma operação está sendo eficiente ou não, usando a relação output/input. O modelo denominado Data Envelopment Analysis (DEA) teve seu marco inicial nos estudos propostos por Farrell (1957). O autor elaborou uma proposta de modelo empírico para determinação da eficiência relativa, em objeção ao modelo de produção funcional teórico para eficiência. Logo, a partir da avaliação proposta por Farrell (1957), os autores Charnes, Cooper e Rhodes iniciaram os estudos em 1978 acerca da abordagem não paramétrica, direcionada para análise de eficiência com múltiplos inputs e outputs.

As unidades organizacionais submetidas ao modelo DEA, foram nomeadas por Charnes et al. (1978) como Unidades Tomadoras de Decisão (do inglês Decision Making Units - DMU). A definição de DMU é genérica e flexível, e de acordo com Cooper et al. (2006), uma DMU pode ser considerada como uma entidade que converte múltiplas entradas em múltiplas saídas e cujo desempenho pode ser avaliado. No modelo DEA, avalia-se  $j$  DMU, em que cada DMU recebe  $k$  entradas diferentes para produzir  $l$  saídas diferentes.

Uma característica intrínseca às DMU é a homogeneidade, ou seja, devem pertencer a um grupo homogêneo e independente, desempenhando a mesma função, onde cada unidade é representada por um conjunto de outputs e de inputs. Isto é, as unidades operacionais são mutuamente comparáveis, consumindo as mesmas entradas e criando as mesmas saídas (Song et al., 2012). Nesse caso, diz-se que uma DMU é eficiente, quando nenhuma outra DMU no conjunto homogêneo de referência produz maior output com igual nível de input, ou quando nenhuma DMU no conjunto

produz um nível maior que ou igual de outputs, empregando menor quantidade de input. Por outro lado, cada unidade classificada como ineficiente poderia ser teoricamente movida (projetada) para a fronteira eficiente e, assim, obter uma pontuação de eficiência igual a um (1), assumindo que o sistema subjacente possa ser reestruturado para melhorar seus resultados.

### 3. METODOLOGIA

Para desenvolvimento do presente estudo, duas fases foram vivenciadas. Na primeira fase, foi realizada uma revisão bibliográfica para a obtenção dos indicadores de desempenho adequados para as empresas do APL de Gesso pernambucano; na segunda fase, os dados associados aos indicadores foram submetidos ao modelo DEA-BCC.

A primeira fase teve como objetivo a exploração de alternativas e situações que agreguem valor a discussão sobre o tema de relevância. Com isso, a pesquisa explorou trabalhos acadêmicos publicados nacionalmente e internacionalmente para apresentar indicadores de desempenho adequados ao contexto das PME do APL de Gesso de Pernambuco. Foi realizada uma pesquisa de trabalhos acadêmicos em três acervos de caráter científico. As bases foram escolhidas em detrimento da facilidade de acesso ao acervo, da credibilidade atestada pela qualidade dos trabalhos publicados. Portanto, esse trabalho utilizou para coleta de referências bibliográficas, a base de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), na base de dados Web of Science e na biblioteca eletrônica Scientific Periodicals Electronic Library (SPELL®), espaços reconhecidos como tradicionais para pesquisa e acesso a conteúdo de caráter técnico-científico.

Com o intuito de garantir a qualidade e assegurar rigor metodológico da presente revisão, foram estabelecidos como critérios para enquadramento dos trabalhos selecionados, sendo:

- Qualidade da base de dados, ou seja, a confiabilidade e segurança da informação intrínsecas ao portal de dados no qual os arquivos estavam indexados;
- Limite de tempo: foram selecionados artigos publicados a partir do ano 2000;
- Idioma original da publicação, onde foram selecionados artigos escritos em

inglês, português, francês e/ou espanhol;

- Setor de aplicação, que nesse caso, restringe-se ao de mineração e/ou beneficiamento do minério. Para filtrar os arquivos que pudessem contribuir com o presente trabalho, palavras chave que remetiam ao tema “gestão estratégica no setor de mineração” foram utilizadas na seleção dos documentos.

Assim, na base de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), foram inseridos termos em combinação, ou seja, no campo destinado a “assunto”, na opção “busca avançada” introduziu-se dupla de palavras como: Indústria de gesso, Gesso, Gestão estratégica, Indústria de mineração, mineração, Balanced Scorecard e Indicadores de desempenho. Nas bases de dados Web of Science e Scientific Periodicals Electronic Library (SPELL®) foram inseridas palavras como: gypsum industry, gypsum, mining industry, mining, Balanced Scorecard, BSC, Strategic management, Key Performance Indicator, KPI. A pesquisa foi realizada marcando a opção de restringir os resultados por idioma e tipos de documentos, selecionando então trabalhos em inglês e do tipo “Article”. Em todas as plataformas foi-se definido como intervalo de “período de publicação” os últimos 19 anos, isto é, trabalhos escritos e/ou publicados a partir de 2000.

Tendo como a base os trabalhos selecionados, pôde-se apontar indicadores de desempenho a serem conciliados ao APL de Gesso de Pernambuco. Ressalta-se que essa seleção compreende as quatro perspectivas do BSC: financeira, cliente, processos internos e aprendizagem e crescimento.

A segunda fase foi desenvolvida com base nas informações relativas aos indicadores de desempenho, obtidos pelos questionários elaborados e enviados às empresas do APL em Pernambuco. Essa fase compreendeu cinco etapas: elaboração do questionário, definição e escolha dos potenciais DMUs para análise, coleta de dados e aplicação do modelo DEA. Isto é, buscou analisar a eficiência das DMU com base nas métricas definidas. Para tal empregou-se a metodologia proposta pela abordagem DEA, descrita na seção de resultados.

### **3.1 ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO**

A partir do conhecimento sobre os indicadores necessários para avaliação de desempenho em indústrias de mineração, coletados na pesquisa bibliográfica da pesquisa, pôde-se construir o questionário, subdividido em cinco grupos de questões, dos quais quatro representavam os quesitos ligados às perspectivas do BSC (cliente, financeira, processos internos, aprendizado e crescimento) e um com dados gerais da empresa, tais como tempo de atuação, localização e produtos comercializados.

### **3.2 DEFINIÇÃO E ESCOLHA DOS POTENCIAIS DMU PARA ANÁLISE**

Para esse estudo, a amostra foi definida por conveniência. As unidades organizacionais (DMU) analisadas pelo método DEA foram selecionadas, de modo que atendessem a regra primordial da metodologia, isto é, organizações que pertencem a um conjunto homogêneo, tendo as mesmas características operacionais. No APL, encontram-se três grandes grupos de empresas que trabalham com o beneficiamento da gipsita: as mineradoras, as calcinadoras e as empresas fabricantes de artefatos de Gesso em geral. Sendo, desse grupo, as calcinadoras como maior número de registros jurídicos ativos na região. Nesse caso, por questões de facilidade no acesso e contato, assim como considerando o fato de que a maioria das empresas atuantes no APL são calcinadoras, foi-se definido como conjunto homogêneo de empresas as calcinadoras que se enquadram como PME.

### **3.3 COLETA DE DADOS REFERENTE A ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO**

A partir da localização das empresas, fornecida pelos órgãos públicos, como JUCEPE e SEFAZ-PE. Foram contatadas quarenta e cinco (45) empresas, das quais vinte e duas (22) localizadas em Araripina-PE, quatorze (14) em Trindade-PE, seis (6) em Ouricuri – PE, duas (2) em Ipubi – PE, uma (1) em Bodocó-PE. Desse conjunto de empresas, trinta e cinco por cento (35%) delas, ou seja, dezesseis (16) retornaram o contato com os dados preenchidos. No questionário foram incluídos quesitos que permitiam o formato de dados qualitativos e, em sua maioria, quantitativos. Com os dados coletados, foi feita a tabulação dos mesmos em planilha do software Microsoft Excel®.

### 3.4 APLICAÇÃO DA MODELO DEA

Nessa fase, fez-se a aplicação do DEA sobre os indicadores de desempenho selecionados. Definiu-se como modelo para o estudo, o DEA-BCC (Banker et al., 1984), também chamado de Retorno Variável de Escala (VRS - Variable Returns to Scale). Ainda foram definidos, nessa fase, os inputs e outputs do processo. Além disso, como orientação do modelo, definiu-se o input. A partir dos indicadores achados na literatura, cada um foi classificado como input ou output, apresentados no Quadro 1.

### 3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nessa fase obteve-se os diagnósticos sobre desempenho da amostra coletada. Para isso, os dados foram submetidos ao Software for Data Envelopment Analysis (SDEA®) versão 1.0.1.22. Trata-se de um software gratuito para download desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisa em Eficiência, Sustentabilidade e Produtividade (NESP) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) no ano de 2015. Considerando a necessidade de elencar indicadores de desempenho que sejam pertinentes ao contexto do setor de mineração, buscou-se na literatura informações sobre essas métricas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos pela metodologia da DEA. Para isso, serão discutidos os dados coletados, considerando o perfil da amostra de dezesseis (16) DMU além da exposição dos scores de desempenho para cada item da amostra, considerando o modelo BCC-input. Além da eficiência clássica, calculada pelo modelo DEA original, obteve-se também os valores de eficiência invertida, composta e composta normalizada. Essa proposta é possível porque as DMU do APL são mutuamente comparáveis, ou seja, consumindo as mesmas entradas e criando as mesmas saídas. Assim, pode-se associar a estrutura axiomática do DEA com o framework dado pelo BSC, fornecendo indicadores para análise de desempenho das empresas do APL de Gesso pernambucano.

## 4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AMOSTRA

Para a presente pesquisa foi definido como conjunto homogêneo de DMU, as PME calcinadoras de Gesso. A escolha, se deu devido ao fato de que no APL as calcinadoras estão em maior número, quando comparadas com as mineradoras, o que facilita o acesso e contato para o estudo. Para atender a restrição definida, foi realizado um levantamento do número de empresas existentes no APL do Gesso em Pernambuco, delimitando-se aos municípios da Região do Araripe, que engloba Araripina, Bodocó, Exu, Bodocó, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade.

Com dados da Junta Comercial de Pernambuco (JUCEPE) e da Secretaria da Fazenda do Estado de Pernambuco (SEFAZ-PE), identificou-se o número de Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) ativos de empresas calcinadoras e mineradoras de gesso. A maioria das empresas com registro jurídico ativo e que atuam no ramo de calcinação de gesso, estão situadas em Araripina – PE (35%) e Trindade –PE (23%). De posse dessas informações, as empresas ativas e que se enquadravam como PME foram contatadas para submissão à pesquisa, por meio do questionário com quesitos sobre os indicadores de desempenho e informações acerca do perfil estrutural da empresa. Ao todo foram elencadas trinta e nove (39) perguntas, sendo cinco (5) acerca de dados gerais da empresa, seis (6) da perspectiva financeira, dezessete (17) associadas a processos internos, seis (6) do pilar cliente e cinco (5) da vertente de aprendizado e crescimento.

A partir da localização das empresas, fornecida pelos órgãos públicos, foram contatadas quarenta e cinco (45) entidades empresariais, das quais vinte e duas (22) localizadas em Araripina-PE, quatorze (14) na cidade de Trindade-PE, seis (6) em Ouricuri – PE, duas (2) no município de Ipubi – PE e uma (1) em Bodocó. Desse conjunto de empresas, trinta e cinco por cento (35%) delas, ou seja, dezesseis (16) empresas retornaram o contato com os dados preenchidos. Essas empresas representam as Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) do modelo DEA adotado.

Das demais localidades do APL do Gesso em Pernambuco não foi possível obter respostas das empresas. Em relação ao tempo de atuação no mercado, as empresas da amostra foram divididas em dois grupos, um com as empresas que possuem menos de 10 anos de funcionamento e outro grupo com as empresas que já atuam há mais de 10 anos.

No grupo com menos de 10 anos, a amostra possui empresas de 4 a 8 anos de atuação. Por outro lado, no grupo com mais de 10 anos de funcionamento, há empresas de 10 a 14 anos. Sobre o tipo de produto manufaturado por essas empresas, a maioria fabrica

o gesso em pó, com destaque ao gesso revestimento (produto utilizado para o revestimento interno de paredes, alvenaria tradicional, pré-moldado de gesso etc.), comercializando-o em sacos standard de 40 kg. Além do gesso de revestimento, a maior parte comercializa o gesso fundição; um gesso fino composto de gesso beta de alta qualidade destinado a fundição de pré-moldados de gesso como blocos, placas, elementos decorativos, dentre outros.

## 4.2 DEFINIÇÃO DOS INPUTS E OUTPUTS

Para submissão ao modelo DEA, os dados de entrada (input) e saída (output) foram definidos conforme indicação da literatura e adaptados à realidade do APL de Gesso em estudo. Para os indicadores de entrada (input), consideram-se todos aqueles que contribuem para o estado de transformação da matéria prima, ou seja, os recursos que são tratados, transformados ou convertidos de alguma forma. Isto é, o que é adicionado e/ou calculado no início do processo.

Por outro lado, como indicadores de saída (outputs), tem-se o composto de bens e serviços, observado quando concluído o processo de transformação na calcinadora. Ou seja, medidas associadas a produtividade do sistema. Nesse caso, foram considerados indicadores relevantes para as operações das empresas calcinadoras, responsáveis pelo processo de transformação do minério de gipsita em gesso.

Quadro 1 – Inputs e Outputs considerados para o modelo DEA

<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
Custo de transporte/frete	Quantidade média de vendas
Custo total de pessoal	Porcentagem de absenteísmo
Custo médio com despesas administrativas gerais	Produtividade por turno
Número de linhas de produção	Quantidade de ações (ou padrões) de promoção de desenvolvimento sustentável
Quantidade de máquinas para ensaque	Horas extras de trabalho de funcionários
Consumo mensal de Gipsita	Criação de oportunidades temporárias
Consumo de lenha	Volume de produção de resíduos
Quantidade de registro de afastamento por doença ocupacional	Toneladas processadas por hora

Acidentes de trabalho registrados	Quantidade de sacos processados por linha de produção
Porcentagem média de utilização da capacidade de produção	Volume de produtos vendidos
Quantidade de funcionários	Aumento no número de novos clientes na região
Número de programas de treinamento e capacitação de colaboradores	Cumprimento do prazo de entrega ao cliente
Número de fornos para calcinação	Quantidade de clientes ativos
Capacidade de britagem	Porcentagem de vendas perdidas ou canceladas pelo cliente
Investimento médio destinado a equipamentos	Quantidade de reclamações registradas
Investimento médio destinado a infraestrutura	
Investimento em projetos e tecnologias ambientais	

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Com destaque, do ponto de vista de inputs, o consumo de gipsita e de lenha são indicadores relevantes. A gipsita, matéria prima para fabricação do gesso, passa por processos anteriores à calcinação, como britagem e moagem, e seu uso pode ser maximizado mediante a redução de desperdícios ao longo desses processos, como apontado no trabalho de Santos (2018). Por outro lado, o uso de lenha, combustível para o forno utilizado na etapa de calcinação, em muitos casos não é bem dimensionado. Isto significa que se usa mais lenha do que o necessário para calcinar a mesma quantidade de gipsita.

Nesse caso, fatores como a eficiência do forno, a manutenção do mesmo e o tamanho das peças de lenha inseridas no forno fazem diferença nesse cálculo. Por isso, essa métrica deve ser verificada a ponto de minimizar a quantidade empregada no processo, reduzindo consequentemente, o custo de fabricação de uma batelada, por exemplo. Arelado ao uso de lenha e gipsita, a “Porcentagem média de utilização da capacidade de produção” apresenta importante contribuição para análise de eficiência, uma

vez que reflete o uso adequado dos equipamentos dispostos na planta industrial, permitindo ainda que a organização utilize melhor os materiais e insumos na produção.

No tocante aos indicadores de saída, pode-se citar como significativos indicadores, a “quantidade de sacos processados por linha de produção”, que pode apontar desvios entre produtividade de duas ou mais linhas de produção. Nesse caso, para as empresas que possuem mais de um forno para calcinação, pode-se verificar os níveis de produção de cada um deles. Essa medida contribui diretamente para outra métrica: “toneladas processadas por hora”, e com isso, pode-se fazer ajustes que atendam ao Planejamento e Controle de Produção (PCP) local.

### **4.3 O SOFTWARE SDEA®**

De posse da classificação dos dados de entrada e saída, utilizou-se no estudo o Software for Data Envelopment Analysis (SDEA®) versão 1.0.1.22 para avaliar o desempenho das DMU. Trata-se de um software desenvolvido pela equipe de desenvolvimento do Núcleo de Pesquisa em Eficiência, Sustentabilidade e Produtividade (NESP) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) em parceria com Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), no ano de 2015.

### **4.4 APLICAÇÃO DO MODELO DEA-BCC**

Com os dados tabulados em planilha do software Microsoft Excel®, pôde-se ordená-los no formato requisitado pelo software SDEA®. Essa etapa é necessária para que o programa reconheça a formatação dos dados e possa executá-los adequadamente, livre de erros e inconsistências.

Para o conjunto de dados disponíveis, optou-se por selecionar o modelo BCC orientado ao input. Nesse caso, o modelo é capaz de determinar uma fronteira do tipo Retorno Variável de Escala (VRS) que considera os retornos crescentes e/ou decrescentes de escala na fronteira dita “eficiente”. Assim, o modelo considera que um acréscimo no input poderá promover um aumento no output, não necessariamente proporcional, podendo até mesmo haver um decréscimo. No modelo, o Problema de Programação Linear (PPL) é estruturado conforme a função objetivo representada por (1), além da Equação 2 e Equação 3.

$$\text{Min } \theta \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r \quad (2)$$

$$- y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s \quad (3)$$

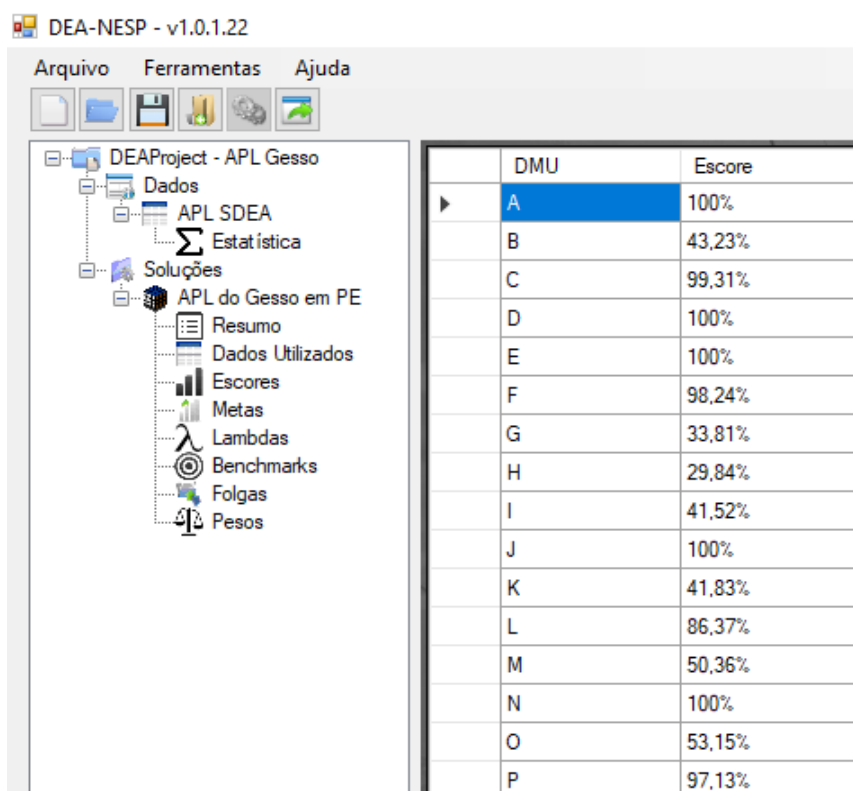
Onde, deve-se atender as seguintes condições, conforme (4) e (5):

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

$$\lambda_k \geq 0 \forall k \quad (5)$$

Para o problema em questão, os  $\lambda$  representam os percentuais de representatividade entre as DMU e seus grupamentos (PASCHALIDOU et al., 2013). Ou seja, pode ser interpretado como um coeficiente de importância, que identifica os benchmarks para cada DMU ineficiente. Importante salientar que os valores dos  $\lambda$  devem somar um (1) e devem ser maiores ou iguais a zero (0), conforme restrições dadas nas em 2 e 3. A partir da submissão dos dados relacionados aos parâmetros no software SDEA® obteve-se o resultado demonstrado pela Figura 1, relacionado ao score de cada DMU.

Figura 1 - Scores obtidos no SDEA®



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Organizando as DMU em um ranking com a ordem de classificação das empresas de acordo com os scores de eficiência obtidos pelo modelo DEA, tem-se a Tabela 1. Nesse caso, o score de eficiência é representado pela letra grega  $\theta$ . O score apresentado representa a eficiência a partir da combinação dos parâmetros de entrada e saída no modelo BCC orientado ao input. O uso do modelo BCC orientado ao input justifica-se porque impõe mais flexibilidade de forma que a solução não seja restrita com retornos constantes de escala.

Tabela 1 - Ranking de DMU por Score

DMU	Posição	Score ( $\theta$ )
A	1	1,000
D	2	1,000
E	3	1,000
J	4	1,000
N	5	1,000
C	6	0,993

F	7	0,982
P	8	0,971
L	9	0,864
O	10	0,532
M	11	0,504
B	12	0,432
K	13	0,418
I	14	0,415
G	15	0,338
H	16	0,298

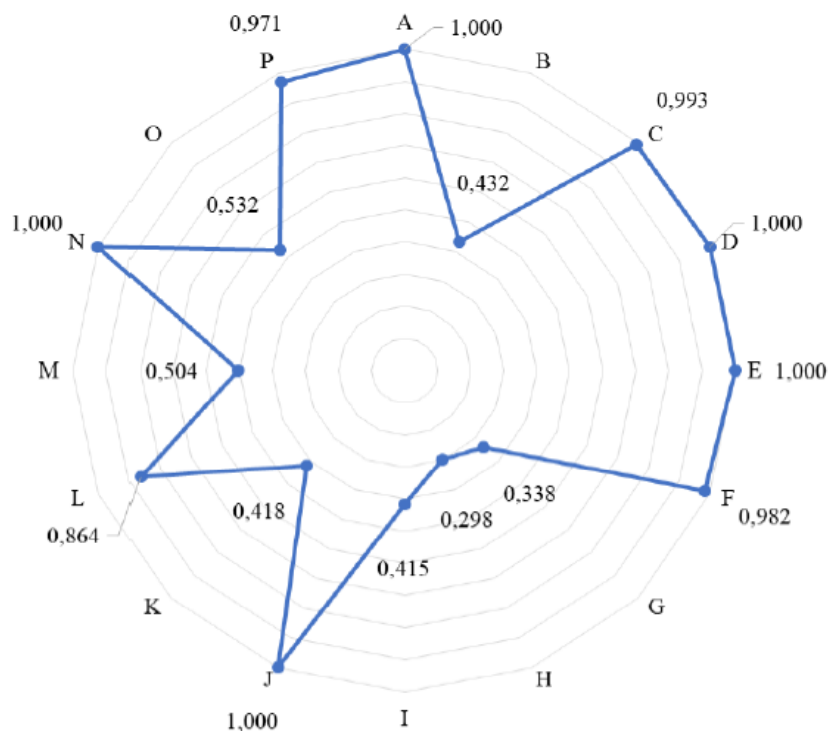
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

O DEA fornece uma pontuação de eficiência entre zero (0) e um (1) para cada DMU envolvida na análise. Conforme Tabela 1, nota-se que cinco (5) DMU (A, D, E, J, N), obtiveram score ( $\theta$ ) máximo, isto é, igual a um (1). Além dessas unidades, as DMU C, F, P e L possuem score próximo de um (1) mas ainda são classificadas como ineficientes e as DMU restantes apresentam valores de eficiência relativamente baixos ( $0,54 \geq \theta \geq 0,29$ ).

Portanto, formam-se dois conjuntos de DMU, o conjunto alfa,  $\alpha = \{A, D, E, J, N\}$  e o conjunto beta,  $\beta = \{C, F, P, L, O, M, B, K, I, G, H\}$ . Importante destacar que Banker et al. (1984) comentaram que uma DMU considerada eficiente no modelo BCC também será no modelo CCR, mas o contrário não ocorre. Deve-se ressaltar que as DMU submetidas ao estudo de desempenho são homogêneas, isto é, possuem as mesmas características operacionais, o que nesse caso são PME do ramo de calcinadoras, atuantes no APL em Pernambuco. Ou seja, as calcinadoras são caracterizadas pela utilização da mesma tecnologia, do mesmo conjunto de atividades, processos e objetivos de produção.

A seleção de entradas e saídas que são usadas para realizar a análise de eficiência é importante para a aplicação do método DEA, sendo um ponto crucial nesse tipo de avaliação. Observando o score de eficiência calculado, pôde-se gerar a visualização da posição das DMU em relação à fronteira de eficiência, como mostra Figura 2 e a Figura 3.

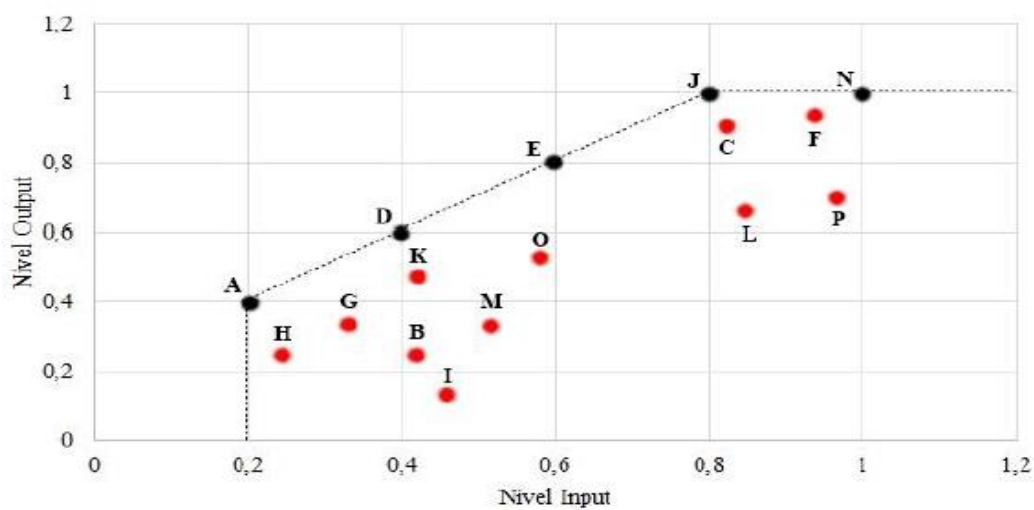
Figura 2 - Fronteira de eficiência das PME do APL de Gesso pernambucano



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

A Figura 3 apresenta o comportamento dos dados em termos da fronteira clássica do modelo BCC.

Figura 3 - Fronteira clássica BCC



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

A aplicação da DEA identifica a fronteira eficiente determinando a melhor combinação de entrada e saída que é capaz de produzir saídas máximas usando entradas mínimas para o conjunto de DMU avaliado. Nesse caso, a partir da fronteira como referência, a eficiência da DMU é considerada relativa com base na distância radial a essa fronteira. Em uma análise incremental foi considerada a eficiência invertida, que nesse caso é considerada como uma avaliação do tipo pessimista das DMU. Para o cálculo do score, faz-se uma troca dos inputs com os outputs considerados no modelo original. Os resultados dos scores, por ordem alfabética de DMU, para essa análise, são apontados na Tabela 2.

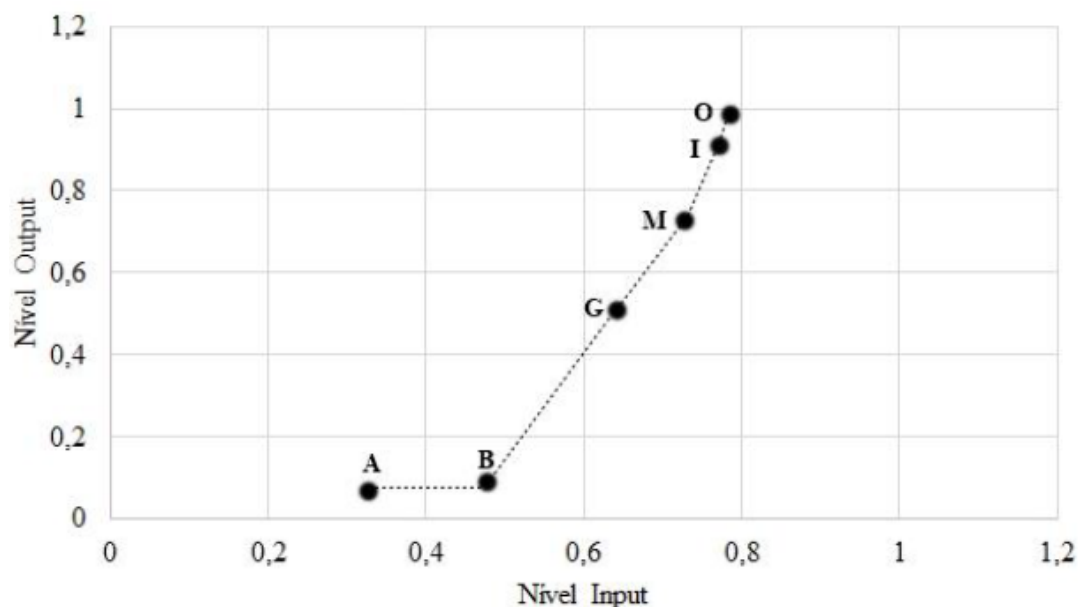
Tabela 2 - Scores para eficiência invertida

DMU	Score ( $\theta$ )
A	0,493
B	0,779
C	1,000
D	1,000
E	1,000
F	1,000
G	0,953
H	1,000
I	0,997
J	1,000
K	1,000
L	1,000
M	0,929
N	1,000
O	0,957
P	1,000

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Esses valores de score inverso são ilustrados na Figura 4.

Figura 4 - Fronteira inversa



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Com os valores obtidos para a eficiência invertida, pode-se calcular o valor da eficiência composta. Essa informação reflete o índice de eficiência agregado, sendo a média aritmética entre a eficiência apresentada pela fronteira original e a ineficiência em relação à fronteira invertida (ENTANI et al., 2002). Utiliza-se, para cálculo, a fórmula:  $\text{Eficiência Composta} = [\text{Eficiência Clássica} + (1 - \text{Eficiência Invertida})] / 2$ . Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Eficiência clássica, invertida, composta e composta normalizada

DMU	Eficiência Clássica	Eficiência Invertida	Eficiência Composta	Eficiência Composta Normalizada
A	1,000	0,493	0,754	1,000
B	0,432	0,779	0,327	0,433
C	0,993	1,000	0,497	0,659
D	1,000	1,000	0,500	0,663
E	1,000	1,000	0,500	0,663
F	0,982	1,000	0,491	0,651

G	0,338	0,953	0,192	0,255
H	0,298	1,000	0,149	0,198
I	0,415	0,997	0,209	0,277
J	1,000	1,000	0,500	0,663
K	0,418	1,000	0,209	0,277
L	0,864	1,000	0,432	0,573
M	0,504	0,929	0,287	0,381
N	1,000	1,000	0,500	0,663
O	0,532	0,957	0,287	0,381
P	0,971	1,000	0,486	0,644

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Por meio da eficiência composta, pode-se realizar uma ponderação entre as avaliações otimista e pessimista de cada DMU. Ademais, para encontrar os valores da eficiência composta normalizada, divide-se os valores obtidos por o maior valor observado na coluna de eficiência composta. Isto é: Eficiência composta normalizada = Eficiência composta / Max (Eficiência Composta).

## 4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Considerando, a priori, o resultado obtido com o score da eficiência clássica (Tabela 1), obtém-se um conjunto de DMU com valores máximos na fronteira, que nesse caso é um (1,0). Acerca desse conjunto de DMU eficientes ( $\alpha$ ), algumas observações podem ser feitas quanto às suas características, como localização, tempo de atuação, níveis de produção/vendas e níveis de insumos principais utilizados. A DMU A atua no mercado há 7 anos, localizada em Araripina-PE e comercializa em média 17.500 sacos de gesso de 40 kg, por mês. Do ponto de vista dos insumos, utiliza aproximadamente 900 toneladas de gipsita e 100 toneladas de lenha para manter o nível médio de produção que atenda a demanda.

A DMU D, por sua vez, está situada no município de Trindade-PE e manufatura e comercializa gesso há 11 anos. A empresa possui, um nível médio mensal de vendas de aproximadamente 100.000 sacos de gesso de 40 kg. Para isso, investiu em fornos de calcinação, possuindo atualmente 5 equipamentos. Para atender a esse nível de produção, emprega cerca de 6.000 toneladas de gipsita e 480 toneladas de lenha.

Outra empresa eficiente, A DMU E está situada também na cidade de Trindade-PE e há 8 anos compõe o hall de empresas calcinadoras do APL considerado. Com uma média de vendas de 48.000 sacos de gesso de 40 kg, a empresa indicou a utilização de 2.100 toneladas de gipsita para atender à demanda e aproximadamente 200 toneladas de lenha, por mês.

Por outro lado, a DMU J faz parte do mercado de gesso há 4 anos, localizada na cidade de Araripina-PE, produzindo em média 50.000 sacos de gesso de 40 kg. Usa 2.500 toneladas de gipsita para produção média mensal e 100 toneladas de lenha para alimentar os dois fornos disponíveis para calcinação. A DMU N apresentou nível de vendas médio de 200.000 sacos de gesso de 40 kg. Essa empresa atua em Trindade-PE, há 8 anos, processa cerca de 11.000 toneladas de gipsita e 290 toneladas de lenha em seu processo de calcinação.

Em síntese, pode-se observar as seguintes informações quanto à estrutura operacional das DMU eficientes, por ordem alfabética, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Características de operação das DMU eficientes

DMU	Localidade	Tempo de atuação (anos)	Nível de produção/vendas (sacos - 40 kg)	Gipsita (toneladas)	Lenha (toneladas)
A	Araripina-PE	7	17.500	900	100
D	Trindade-PE	11	100.000	6.000	480
E	Trindade-PE	8	48.000	2.100	200
J	Araripina-PE	4	50.000	2.500	100
N	Trindade-PE	8	200.000	11.000	290

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

A gipsita é o principal insumo para o processo de manufatura do gesso, e durante a etapa de calcinação (processo térmico de desidratação da gipsita), uma parcela do minério é reduzida em termos de volume. Assim, a eficiência dos fornos é também um fator primordial para que se evite perdas no principal processo, a calcinação e, com isso, os volumes finais de produção de gesso sejam melhorados.

Ainda com base nos valores da eficiência clássica, apresentados na Tabela 1, pode-se apontar as empresas com menor desempenho. Do grupo de DMU ineficientes, listadas pelo conjunto  $\beta$ , a DMU H apresenta menor score (0,298), e trata-se de uma empresa que existe há 10 anos e situa-se em Araripina-PE. Um dado importante, nesse caso, é que o tempo de atuação não reflete automaticamente numa maior eficiência operacional. Provavelmente, muitos aspectos de gerenciamento de processos estão sendo ignorados e/ou os recursos não estão sendo bem dimensionados de acordo com a demanda real.

Outro elemento do conjunto  $\beta$  a DMU G com score igual a 0,338 aparece com uma das mais baixas em desempenho. Atuante há 5 anos em Araripina-PE, a empresa tem uma venda média de 8.000 sacos de gesso de 40 kg mensais. Contudo, esse valor isolado não significa uma informação totalmente “útil” para avaliar a performance geral. Apenas reforça que a análise de desempenho deve ser holística, considerando o máximo de indicadores possíveis em todas as perspectivas, principalmente atreladas aos processos internos.

Um dado observado, em específico de duas DMU, a DMU K e a DMU F, é o de utilização da capacidade de produção. No primeiro caso, apenas 60% da capacidade é utilizada e no segundo caso, um nível ainda menor, apenas 55%. Nas DMU eficientes esse índice é de, em média, 85%. Em ambos os casos, uma intervenção de modo a realizar o balanceamento de linha de produção, por exemplo, pode aumentar a eficiência do processo e com isso o score de desempenho sofra uma variação positiva.

Nas empresas do APL, o número de fornos para calcinação é definido, por vezes, sem um dimensionamento adequado da linha de produção geral, o que pode tornar o processo desbalanceado. Além disso, o número de moinhos e máquinas para ensaque também variam de empresa para empresa e não estão, em alguns casos, definidos de acordo com a quantidade de fornos para calcinação, o que seria o mais recomendado.

Tais elementos do processo fabril definem o indicador acima relatado para as DMU ineficientes (K e F), o de utilização da capacidade de produção. Caso os

equipamentos não sigam um balanceamento adequado, o indicador será comprometido e pode implicar numa avaliação negativa da produtividade dessas empresas. Isso ainda pode implicar no cálculo de toneladas processadas por hora e na produtividade por turno de trabalho. Outra característica das empresas do APL está relacionada ao número de clientes das empresas. O número de clientes fixos é relativamente baixo, pois a maior parte de demanda por gesso vem de construtoras e estas demandam o produto das calcinadoras de acordo com o mercado de empreendimentos imobiliários.

Por outro lado, quando analisados os valores da Tabela 2, isto é, do score de eficiência invertida, tem-se informações sobre as DMU que são classificadas como anti-benchmark. Em suma, são vistas como as empresas com piores práticas gerenciais do grupo analisado. Assim, as DMU A, B, M, G, O e I compõem a fronteira invertida, assumindo os menores valores do conjunto geral.

Observa-se nesse resultado que a empresa A, ora classificada como eficiente na fronteira clássica anteriormente, é apontada agora como uma das organizações ineficientes quando analisada na nova ótica de eficiência invertida. Esse comportamento se dá em razão de um problema decorrente do modelo BCC, identificado por Mello et al. (2008). Segundo os autores, o fato de uma empresa ter maior valor em um output específico não pode ser considerada eficiente, pois deve-se considerar os valores globais das outras variáveis. Isto é, uma DMU pode ter maior valor em um dos outputs (localizando-se na fronteira clássica), mas se tiver o menor valor em um dos inputs estará localizada na fronteira invertida, quando considerada essa interseção na avaliação. Nesse caso, do conjunto classificado como eficiente na fronteira clássica, as demais (D, E, J, N) ainda continuam como benchmark para esse contexto.

Apesar de ter sido incluída na fronteira invertida, a DMU A pode ser apontada como a empresa eficiente desse conjunto total de dezesseis organizações. Essa afirmativa é baseada no valor obtido para eficiência composta (calculada por meio da eficiência clássica e da eficiência invertida), o que indica a empresa com melhor desempenho. A empresa “A” foi a única que obteve valor máximo igual a 1,0 na fronteira de eficiência composta normalizada; as demais ficaram no intervalo [0,198; 0,663]. Através desse resultado, é indicado que a DMU A tem uma boa performance nas variáveis em que se destaca, além de não ter um mau desempenho nas variáveis em que ela não se destaca.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No modelo integrado DEA-BSC proposto por esse trabalho, as medidas de entrada e saída foram pautadas nas perspectivas relacionados ao BSC. Logo, com essa estruturação, a análise é complementada no método DEA, que quantifica os conceitos qualitativos incorporados na abordagem BSC. A DEA é uma técnica amplamente usada, com diversos estudos publicados nos mais diversos setores, para a avaliação de desempenho e no benchmarking de um conjunto de entidades, consideradas DMU. O modelo DEA fornece uma quantidade significativa de informações a partir da qual analistas obtêm insights e diretrizes para promover e comparar os desempenhos existentes entre DMU com características semelhantes.

Conforme apresentado na seção de resultados, notou-se que cinco DMU foram classificadas como eficientes na fronteira clássica, pois obtiveram score máximo, isto é, igual a um (1), definido como o conjunto Alfa,  $\alpha = \{A, D, E, J, N\}$  e o conjunto Beta,  $\beta = \{C, F, P, L, O, M, B, K, I, G, H\}$  como congregação de DMU ineficientes. Para as empresas do conjunto  $\beta$ , o DEA é capaz de fornecer uma quantidade significativa de informações das quais analistas e gerentes podem derivar ideias e diretrizes para aprimorar os desempenhos existentes, como por exemplo os Lambdas ( $\lambda$ ), que identifica os benchmarks para cada DMU ineficiente.

Entretanto, esse resultado da eficiência clássica sofre uma pequena alteração quando se calcula a eficiência invertida. As DMU A, B, M, G, O e I passam a compor a fronteira invertida, o que se traduz como as empresas anti-benchmark, ou seja, com piores práticas gerenciais. Mas, quando observado o valor da eficiência composta, que analisa a média aritmética entre a eficiência da fronteira original e a eficiência em relação à fronteira invertida, a DMU A é apontada como a única empresa eficiente do conjunto total, assumindo valor igual a 1,0 na eficiência composta normalizada.

Ademais, como proposta de estudos futuros indica-se a aplicação do modelo DEA para empresas mineradoras de gipsita, não consideradas por esse estudo. Além disso, pode-se buscar identificar as causas das ineficiências nas empresas que foram apontados como tal, com o intuito de auxiliar os administradores na tomada de decisão, promovendo um gerenciamento corretivo para assim, melhor aproveitar os recursos produtivos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. C.; DE SOUSA, J. G. G.; FERRAZ, A. de V.; RODRIGUES, S. D. de S.; FERREIRA, R. C. da S.; FONSECA, K. L. da S.; HERNANDEZ, L. I. N.; OLIVIER, N. C. Avaliação de pastas de gesso com aditivo incorporador de ar. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 11804–11815, 2023. Disponível em: <https://10.34117/bjdv9n3-186>. Acesso em: 26 set. 2025.

ARAÚJO, S.M.S. a indústria extrativa mineral do pólo gesseiro do araripe e seus impactos sócio-ambientais. *Revista de Geografia*, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 91–112, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228966>. Acesso em: 26 set. 2025.

AZNAR-SÁNCHEZ, J. A.; GARCÍA-GÓMEZ, J. J.; VELASCO-MUÑOZ, J. F.; CARRETERO-GÓMEZ, A. Mining Waste and Its Sustainable Management: Advances in Worldwide Research. *Minerals*, v. 8, n. 284, p. 1-27, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/min8070284>. Acesso em 20 set. 2025.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Minería y calcinación em el pólo yesero de Pernambuco (Brasil). *Boletín Geológico y Minero*, v. 117, n. 4, p. 695-702, 2006. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2264806>. Acesso em 10 set. 2025.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2631725>. Acesso em 10 set. 2025.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do polo do Araripe. *Cerâmica*, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/sBfG5vkZscNKqDcQmJLpWTv/?lang=pt>. Acesso em 25 set. 2025.

BELAS, J.; SMRCKA, L.; GAVUROVA, B.; DVORSKY, J. The impact of social and economic factors in the credit risk management of SME. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 24, p. 1215–1230, 2018. Disponível em: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/TEDE/article/view/1968>. Acesso em 26 set. 2025.

CARVALHO, F. P. Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security*, v. 6, n. 2, p. 61– 77, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fes3.109>. Acesso em 26 set. 2025.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decisionmaking units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:ejores:v:2:y:1978:i:6:p:429-444>. Acesso em 26 set. 2025.

CHIANG C. Y.; LIN B. An Integration of Balanced Scorecards and Data Envelopment Analysis for Firm's Benchmarking Management, *Total Quality Management*, v. 20, p. 1153-1172, 2009. Disponível em:

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=705695>. Acesso em 26 set. 2025.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. 2nd ed. New York: Springer, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-45283-8>. Acesso em 26 set. 2025.

DANTAS, A. C. S.; SCALABRIN, D. H.; FARIAS, R.; BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; WIRTH, C. Design of Highly Porous Hydroxyapatite Scaffolds by Conversion of 3D Printed Gypsum Structures – A Comparison Study, *Procedia CIRP*, v. 49, p. 55-60, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115007891>. Acesso em 25 set. 2025.

DE GEUSER, F.; MOORAJ, S.; OYON, D. Does the Balanced Scorecard Add Value? Empirical Evidence on its Effect on Performance. *European Accounting Review*, v. 18, n. 1, p. 93-122, 2009. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09638180802481698>. Acesso em 26 set. 2025.

DORIN, I.; DIACONESCU, C.; TOPOR, D. I. The Role of Mining in National Economies. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, v. 4, n. 3, p. 155–160, 2014. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/hur/ijaraf/v4y2014i3p155-160.html>. Acesso em 26 set. 2025.

EPSTEIN, M. J.; WISNER, P. S. Using a Balanced Scorecard to implement sustainability. *Environmental Quality Management*, v. 11, 1–10, 2001. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2104541>. Acesso em 26 set. 2025.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of Royal Statistical Society: Series A*, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2343100>. Acesso em 26 set. 2025.

FERNANDES, C. H. A.; SILVA, A. C. G.C.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, P. V. Aplicação da metodologia DMAIC para a redução dos desperdícios em uma indústria de gesso do interior de Pernambuco, Brasil. *Navus – Revista de Gestão e Tecnologia*, v. 11, p. 01-19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22279/navus.2021.v11.p01-19.1622>. Acesso em 26 set. 2025.

FERNANDEZ-LOZANO, J.; GUTIERREZ-ALONSO, G.; FERNANDEZ-MORAN, M. A. Using airborne LiDAR sensing technology and aerial orthoimages to unravel roman water supply systems and gold works in NW Spain (Eria valley, León). *Journal of Archaeological Science*, v. 53, p. 356– 373, 2015. Disponível em: [https://www.academia.edu/19251329/Using\\_airborne\\_LiDAR\\_sensing\\_technology\\_and\\_aerial\\_orthoimages\\_to\\_unravel\\_roman\\_water\\_supply\\_systems\\_and\\_gold\\_works\\_in\\_NW\\_Spain\\_Eria\\_valley\\_Le\\_on](https://www.academia.edu/19251329/Using_airborne_LiDAR_sensing_technology_and_aerial_orthoimages_to_unravel_roman_water_supply_systems_and_gold_works_in_NW_Spain_Eria_valley_Le_on). Acesso em 26 set. 2025.

GARTNER, E. M. Cohesion and expansion in polycrystalline solids formed by hydration reactions – The case of gypsum plasters. *Cement and Concrete Research*, v. 39, p. 289–295, 2009. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884609000234>. Acesso em 25 set. 2025.

GERALDO, R. H.; PINHEIRO, S. M. M.; SILVA, J. S.; ANDRADE, H. M. C.; DWECK, J.; GONÇALVES, J. P.; CAMARINI, G. Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution, *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 288-300, 2017. Disponível em: <http://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017JCPPro.164..288G/abstract>. Acesso em 26 set. 2025.

GIANNOPOULOS, G.; HOLT, A.; KHANSALAR, E.; CLEANTHOUS, S. The Use of the Balanced Scorecard in Small Companies. *International Journal of Business and Management*, v. 8, n. 14, p. 1-22, 2013. Disponível em: <https://www.abacademies.org/articles/Using-the-Balanced-Scorecard-Perspectives-to-Measure-the-Performance-1528-2635-23-5-462.pdf>. Acesso em 26 set. 2025.

GOMES, G. M. Oportunidades de Investimentos. In: *A Economia de Pernambuco: Uma Contribuição Para o Futuro*. IAUPE/SEPLAN, 2006.

ITEP. Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Centro Tecnológico do Gesso: Pólo Gesseiro do Araripe. Site institucional. Recife-PE, 2019.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The Balanced Scorecard: Measures that drives performance. *Harvard Business Review*, v. 70, n. 1, p. 71-79, 1992. Disponível em: <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=9161>. Acesso em 26 set. 2025.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. Using the Balanced Scorecard as a strategic management system. *Harvard Business Review*, v. 74, n. 1, p. 75-85, 1996. Disponível em: <https://hbr.org/2007/07/using-the-balanced-scorecard-as-a-strategic-management-system>. Acesso em 26 set. 2025.

MACHADO, W. R. B.; SANTOS, P. V. S. Mensuração da capacidade do processo de beneficiamento de uva de mesa em um packing house: estudo de caso em uma empresa no Vale do São Francisco. *NAVUS Revista de Gestão e Tecnologia*, v. 10, p. 01-15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-15.1162>. Acesso em 26 set. 2025.

MALAGUEÑO, R.; LOPEZ-VALEIRAS, E.; GOMEZ-CONDE, J. Balanced Scorecard in SMEs: effects on innovation and financial performance, *Small Business Economics*, v. 51, n. 1, p. 221-244, 2018. Disponível em: [https://ideas.repec.org/a/kap/sbusec/v51y2018i1d10.1007\\_s11187-017-9921-3.html](https://ideas.repec.org/a/kap/sbusec/v51y2018i1d10.1007_s11187-017-9921-3.html). Acesso em 26 set. 2025.

MIKUŠOVÁ, M. To be or not to be a business responsible for sustainable development? Survey from small Czech businesses. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, v. 30, p. 1318–1338, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1331677X.2017.1355257>. Acesso em 26 set. 2025.

OLIVEIRA, T. C. T.; SILVA, A. C. G. C.; SANTOS, P. V. S. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: estudo aplicado em fabricante de chapas de gesso Drywall. *Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada*, v. 8, p. 59-66, 2023. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/2191>. Acesso em 26 set. 2025.

OLIVEIRA, G. K.; SANTOS FILHO, V. H.; SANTOS, P. V. S. Implantação da metodologia Lean Six Sigma em uma empresa de celulose e papel. Revista Produção Online, v. 24, p. 5199, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i1.5199>. Acesso em 26 set. 2025.

PAPENHAUSEN, C.; EINSTEIN, W. Implementing the Balanced Scorecard at a college of business. Measuring Business Excellence Journal, v. 10, n. 3, p. 15-22, 2006. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1817456>. Acesso em 26 set. 2025.

PARK, J. A.; GAGNON, G. B. A causal relationship between the balanced scorecard perspectives. Journal Of Human Resources In Hospitality & Tourism, v. 5, n. 2, p. 91-116, 2006. Disponível em: [https://www.academia.edu/76966671/Balanced\\_scorecard\\_in\\_the\\_hospitality\\_and\\_tourism\\_industry\\_Past\\_present\\_and\\_future](https://www.academia.edu/76966671/Balanced_scorecard_in_the_hospitality_and_tourism_industry_Past_present_and_future). Acesso em 26 set. 2025.

SANTOS, P. V. S.; FERRAZ, A. V.; SILVA, A. C. G. C. Utilização da ferramenta mapeamento de fluxo de valor (MFV) para identificação de desperdícios no processo produtivo de uma empresa fabricante de gesso. Revista Produção Online, v. 19, p. 1197-1230, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i4.3310>. Acesso em 26 set. 2025.

SANTOS, P. V. S.; SILVA, E. C. Gestão estratégica da qualidade aplicada à redução de devoluções. NAVUS - Revista De Gestão e Tecnologia, v. 9, p. 30-48, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22279/navus.2019.v9n4.p30-48.884>. Acesso em 26 set. 2025.

SANTOS FILHO, V.H.; SANTOS, P.V.S.; OLIVEIRA, K.A. Avaliação estatística da variabilidade de medida no processo produtivo de gesso  $\beta$ . In: ENEGEP 2020, Anais... Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2020, Online, 2020. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.14488/enegep2020\\_tn\\_sto\\_347\\_1782\\_41120](http://dx.doi.org/10.14488/enegep2020_tn_sto_347_1782_41120). Acesso em 25 set. 2025.

SANTOS, P.V.S.; SILVA, E.C.; ROCHA, I.T.R.; ARAÚJO, M.A. Análise de variância como suporte para a Filosofia Lean na fabricação de gesso. Revista Gestão em Análise, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 104–119, 2025. DOI: 10.12662/2359-618xregea.v14i1.p104-119.2025. Disponível em: <https://periodicos.unichristus.edu.br/gestao/article/view/5409>. Acesso em: 26 set. 2025.

SHAFIEE, M.; LOTFI, F. H.; SALEH, H. Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. Applied Mathematical Modelling, v. 38, n. 21–22, p. 5092-5112, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X14001267>. Acesso em 26 set. 2025.

SONG, M.; AN, Q.; ZHANG, W.; WANG, Z.; WU, J. Environmental efficiency evaluation based on Data Envelopment Analysis: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 4465–4469, 2012. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v16y2012i7p4465-4469.html>. Acesso em 26 set. 2025.

STAVAREK, D.; REPKOVA, I. Efficiency in the Czech banking industry: A non-parametric approach. ACTA Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis Journal, v. 60, n. 2, p. 357-66, 2012. Disponível em:

[https://acta.mendelu.cz/artkey/acu-201202-0047\\_efficiency-in-the-czech-banking-industry-a-non-parametric-approach.php](https://acta.mendelu.cz/artkey/acu-201202-0047_efficiency-in-the-czech-banking-industry-a-non-parametric-approach.php). Acesso em 26 set. 2025.

WEISSENBERGER-EIBL, M. A.; ALMEIDA, A.; SEUS, F. A Systems Thinking Approach to Corporate Strategy Development, Systems, v. 7, n. 16, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-8954/7/1/16>. Acesso em 26 set. 2025.

## HISTÓRICO

ORIGINAL RECEBIDO EM : 19/08/2025

ACEITO PARA PUBLICAÇÃO EM : 26/09/2025