

Canoas, v. 12, n. 1, 2023

 <http://dx.doi.org/10.18316/desenv.v12i1.9660>

Avaliação de indicadores de sustentabilidade em indústrias brasileiras de papel e celulose a partir da Análise Envoltória de Dados

Mirella De Paola Padovani¹

Denise Helena Lombardo Ferreira²

Resumo: Frente à temática do Desenvolvimento Sustentável e a importância de avaliar a eficiência de empresas no que diz respeito à produtividade e à geração de resíduos, esta pesquisa consiste em realizar uma avaliação dos Indicadores de Sustentabilidade utilizados por empresas do setor papelero atuantes no Brasil, com a finalidade de identificar quais são os mais pertinentes a serem utilizados, visto a importância desse setor para a economia do País. A seleção das empresas foi feita a partir dos Indicadores de Sustentabilidade sugeridos pela *Global Reporting Initiative* e dos dados divulgados pelas empresas em seus Relatórios de Sustentabilidade para o ano de 2016. Para a realização dessa análise utilizou-se da ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA) e do Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo para avaliar os melhores indicadores para a análise da sustentabilidade das empresas selecionadas. Os resultados obtidos mostraram coerência entre os Indicadores mais adequados para a avaliação da sustentabilidade e para a aplicação do modelo.

Palavras-chave: Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo; Desenvolvimento Sustentável; Setor de Papel e Celulose.

Evaluation of sustainability indicators in brazilian paper and cellulose industries from Data Envelopment Analysis

Abstract: Given the Sustainable Development theme and the importance of evaluating the efficiency of companies in terms of productivity and waste generation, this research consists of carrying out an evaluation of the Sustainability Indicators used by companies in the paper sector operating in Brazil, given the importance of this sector for the economy of the country. The companies were selected based on the Sustainability Indicators suggested by the Global Reporting Initiative and on the data disclosed by the companies in their 2016 Sustainability Reports. To perform this analysis, the Data Envelopment Analysis (DEA) tool was used and the Complete Exhaustive I-O Stepwise Method to evaluate the best indicators for the sustainability analysis of the selected companies. The results obtained showed coherence between the most appropriate indicators for the sustainability assessment and for the application of the model.

Keywords: Complete Exhaustive Stepwise I-O Method; Sustainable development; Pulp and Paper Sector.

-
- 1 Graduada em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, Analista de Engenharia. Endereço Postal: Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Jerbini, 1516, Parque Rural Santa Cândida, Campinas, SP, CEP. 13087-571. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2426-5850>. E-mail: mirelladpp@gmail.com
 - 2 Doutora em Educação Matemática pela Universidade Júlio de Mesquita Filho, UNESP-Rio Claro. Pesquisadora e Professora do Mestrado em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-2406>. E-mail: lombardo@puc-campinas.edu.br

1 Introdução

Com a Revolução Industrial, um grande avanço no desenvolvimento de técnicas acelerou os processos produtivos como um todo. Contudo, na busca por matérias-primas, muitos biomas foram significativamente afetados e animais foram extintos, e essa devastação ambiental continua sendo uma grande preocupação da atualidade (MARQUES, 2022).

Além disso, com a falta de conhecimento sobre as consequências ocasionadas por essas mudanças nos processos produtivos, as indústrias alteraram o equilíbrio natural do planeta com a geração de resíduos, além de outros poluentes. Conforme assinala Boff (2012), a partir da degradação ambiental e do aumento da poluição houve uma queda na qualidade de vida das pessoas.

Nesse sentido, representantes de vários países, pesquisadores e as Nações Unidas se reuniram a fim de encontrar uma solução para esse problema, culminando no conceito do Desenvolvimento Sustentável, o qual presa pela melhoria da eficiência dos processos produtivos, com a redução do uso de matérias-primas e da geração de resíduos (ONU, 2015). Contudo, o desafio é garantir que essa mudança nos processos produtivos não interfira na qualidade dos bens produzidos, nem altere os lucros e resultados das organizações (MACIEL; KHAN, 2017).

Para que as empresas iniciassem a transição em seus processos de redução de consumo e descartes adequados, o Brasil, assim como diversos países ao redor do mundo, passou a desenvolver leis para o controle ambiental, obrigando as empresas a reduzirem suas emissões de carbono e a preservarem pelo meio ambiente, atendendo as metas estabelecidas pelas conferências sobre o clima (BARBOSA, 2022). As empresas por sua vez, perceberam que uma melhoria na eficiência de seus processos produtivos resultaria em um aumento dos ganhos a longo prazo, a reciclagem de seus materiais significaria uma diminuição nos gastos com insumos. Além disso, o desenvolvimento de novos métodos de produção que utilizassem recursos naturais reduziria a possibilidade de levar a empresa à falência, em caso de esgotamento dos recursos não renováveis (UPADHYAY, 2014).

Uma das alternativas que viabiliza a melhoria no desempenho das empresas é o reaproveitamento dos resíduos industriais. Isso, somado a outros indicadores de sustentabilidade permite a criação de modelos para medir os níveis de sustentabilidade na esfera empresarial.

Dentre os diversos ramos industriais, o setor de papel e celulose é um grande consumidor de recursos naturais (água e madeira) e energia, além de grande poluidor (RAMOS *et al.*, 2018). A indústria papeleira libera para o ambiente compostos químicos formados durante o processo, prejudicando a vida aquática e o meio ambiente. A composição e a quantidade de contaminantes do processo de produção varia de acordo com o processo de extração da celulose (COVINICH, 2014).

Contudo, no Brasil, o setor de papel e celulose, apesar de grande poluidor e gerador de resíduos, possui uma importância significativa para o crescimento e desenvolvimento do País (SANTOS *et al.*, 2020). No *ranking* mundial, o País vem mantendo sua colocação como segundo maior exportador de celulose do mundo, com uma parcela de 70% de toda a produção nacional voltada para a exportação e 30% destinado ao mercado interno, totalizando 22,5 milhões de toneladas em 2022. Já a produção de papel é voltada ao mercado doméstico com a parcela de apenas 19% destinada à exportação e, por esse motivo, ocupou a 8ª

posição no *ranking* mundial, totalizando uma produção de 10,7 milhões de toneladas de papel no ano de 2018. Ademais, o setor de plantio de árvores contribuiu em 2016 com 4,6% do 7,5% do Produto Interno Bruto Industrial, no qual o segmento de produção de papel e celulose é o maior entre todos (IBÁ, 2022).

Isso exposto, nota-se uma urgência na necessidade do estudo da eficiência produtiva nos conceitos do desenvolvimento sustentável das indústrias do setor papelero a fim de gerar o menor impacto possível sobre o meio ambiente e, em contrapartida, contribuir para o crescimento e o desenvolvimento do País. Para isso, a presente pesquisa fez uso da ferramenta Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), uma técnica de Programação Linear que calcula a eficiência de unidades a serem comparadas a partir de dados mensurados, possibilitando obter um *ranking* dessas unidades. Utilizando-se deste modelo, esta pesquisa teve por objetivo realizar uma avaliação dos Indicadores de Sustentabilidade utilizados por empresas do setor papelero atuantes no Brasil, com a finalidade de identificar quais são os mais pertinentes a serem utilizados a partir do método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo.

2 Fundamentação teórica

Nesta seção apresenta-se uma breve descrição sobre o processo da produção de papel e celulose, além de discorrer sobre os Indicadores de Sustentabilidade.

2.1 Processo produtivo da celulose e do papel

O processo produtivo mais empregado no Brasil para fabricação de celulose e papel é o Kraft, que consiste em seis etapas principais, sendo elas: preparação da madeira, cozimento, lavagem, deslignificação, branqueamento e secagem.

Segundo Piotto (2003), na preparação da madeira, fragmenta-se e peneira-se e, na sequência, essa madeira é levada para um tanque de cozimento no qual a partir da adição do licor branco são separadas a celulose, as hemiceluloses e a lignina. Após o término das três primeiras etapas, a mistura é lavada para que a celulose seja isolada dos demais produtos do cozimento. Em seguida, na deslignificação, adicionam-se mais reagentes para retirada da fração residual da lignina, que proporciona um tom amarronzado à fibra. Por fim, essa celulose é branqueada – no caso de papéis do tipo imprimir e escrever – para que possa ser prensada, cortada e distribuída na forma de papel.

2.2 Indicadores de Sustentabilidade

Conforme Hammond *et al.* (1995) o termo “indicador” tem sua origem no latim “*indicare*” que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar. Van Bellen (2006) assinala que os indicadores têm um papel relevante no sentido de tornar mais evidentes os fenômenos ou tendências.

O processo de avaliação da Sustentabilidade Corporativa a partir de Indicadores de Sustentabilidade de uma empresa é complexo e uma seleção inadequada pode tornar o modelo inconsistente. Além dessa sensibilidade na aplicação de modelos, não necessariamente uma maior quantidade de indicadores irá

resultar numa maior precisão dos resultados obtidos, reforçando a importância do uso de modelos que auxiliem na seleção dos indicadores mais adequados.

Dočekalová *et al.* (2017) apontam os cuidados necessários na escolha dos indicadores de sustentabilidade relacionados às dimensões econômica, ambiental, social e de governança corporativa do Desenvolvimento Sustentável (Quadro 1).

Quadro 1: Exemplos de Indicadores de Sustentabilidade por dimensões do Desenvolvimento Sustentável

Dimensões	Indicadores
Econômica	Fluxo de caixa Retorno de ativos
Ambiental	Consumo de materiais recicláveis Consumo de matérias-primas Consumo de combustíveis Desperdício na produção Custos ambientais
Social	Discriminação salarial Violação do código de ética Porcentagem de funcionários abrangidos pelo acordo coletivo Doenças profissionais Porcentagem de produtos e serviços para os quais o impacto na saúde e segurança dos consumidores são avaliados durante o ciclo de vida Investimento na identificação e garantia da satisfação do cliente
De Governança Corporativa	Porcentagem de objetivos estratégicos atingidos Porcentagem de mulheres na Governança Corporativa Contribuição para partidos políticos, políticos e instituições relacionadas Número de reclamações de stakeholders Número de sanções por descumprimentos de leis, normas e regulamentações

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Dočekalová, *et al.* (2017).

A partir do Quadro 1 é possível observar que Dočekalová *et al.* (2017) assinalam que para a definição de indicadores que objetivam avaliar a performance econômica de uma empresa, apenas dois indicadores econômicos são suficientes. Os mesmos autores destacam que o tratamento de dados, cuja avaliação passa por um maior espectro de pessoas, como é o caso de indicadores nas esferas sociais e de governança corporativa, existe uma maior complexidade na seleção.

3 Metodologia

Nesta seção descreve-se a ferramenta DEA, detalha-se os critérios de seleção das variáveis e das DMU's utilizados no modelo e, por fim, a descrição dos passos para a aplicação da ferramenta.

3.1 Análise Envoltória de Dados

A ferramenta Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) é um método não paramétrico que se baseia em técnicas de Programação Linear, muito utilizada para medir a eficiência

de *Decision Making Units* ou Unidades de Tomada de Decisão (DMU's). Além das eficiências, o modelo também é capaz de fornecer metas e *benchmarkings* para que as DMU'S ineficientes possam atingir a fronteira de eficiência (SUGUIY, 2017).

A aplicação da ferramenta DEA normalmente é feita a partir de dois modelos tradicionais. O primeiro trabalha com retornos constantes de escala (CRS), enquanto o segundo trabalha com retornos variáveis (VRS). No modelo CRS há uma menor quantidade de DMU'S eficientes quando comparado ao modelo VRS.

Na ferramenta DEA, o conceito de eficiência consiste em comparar as unidades produtivas a partir do montante por elas gerado e de uma quantidade limitada de recursos. Os recursos são denominados de variáveis de entrada (*inputs*), enquanto os produtos são as variáveis de saída (*outputs*). Portanto, para que se possa atingir a eficiência, as DMU's podem: reduzir os recursos utilizados mantendo constante a produção ou o inverso. Ao primeiro caso, denomina-se orientação *input* – utilizada nesta pesquisa – enquanto para o inverso, orientação *output* (MEZA *et al.*, 2005). As equações (1) a (4) descrevem o modelo com orientação *input* e as equações (5) a (8) descrevem o modelo com orientação *output*.

$$Max\ Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \tag{1}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \tag{3}$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j \tag{4}$$

$$Min\ h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} \tag{5}$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} = 1 \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \tag{7}$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j \tag{8}$$

Nas representações acima, a eficiência são representadas por Eff_o e h_o ($1/Eff_o$) ($1/h_o$), respectivamente, nas quais para DMU_o em análise são atribuídos os pesos v_i aos *inputs* x_{io} , $i = 1, \dots, r$; e os pesos u_j aos *outputs* y_{jo} , $j = 1, \dots, s$. Também são atribuídos

os pesos $v_i v_i$ e $u_j u_j$ aos *inputs* ii e *outputs* jj das demais DMU's kk , $k = 1, \dots, nk = 1, \dots, n$.

A presente pesquisa fez-se uso do modelo CRS por meio do programa SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) (MEZA *et al.*, 2005).

3.2 Seleção das variáveis e DMU's

Para a aplicação do modelo DEA, definiu-se que as empresas analisadas representam as DMU's e os Indicadores de Sustentabilidade as variáveis, as quais podem variar entre *inputs* e *outputs*.

Para o critério de seleção das empresas a serem analisadas adotou-se como aquelas que produzem celulose e/ou papel que divulgam Relatórios de Sustentabilidade no ano de 2016.

O motivo da escolha do ano 2016 para coleta dos dados fundamentou-se em diversas restrições encontradas na coleta de dados. Anteriormente ao ano de 2016, poucas empresas do setor divulgavam relatórios com as informações sobre os dados necessários para a análise. Após esse período, algumas das principais empresas do setor se fundiram e como consequência o número de DMUs seria bastante reduzido, impactando a análise.

Outra dificuldade enfrentada na coleta de dados foi a análise temporal, pois os relatórios divulgados não possuíam o mesmo formato, nem a mesma descrição dos indicadores, o que poderia trazer uma comparação equivocada e, conseqüentemente uma incoerência da análise. Além de que, algumas das empresas que divulgaram seus relatórios em 2016, não divulgaram nos anos subsequentes.

Já os indicadores selecionados basearam-se na disponibilidade dos dados adquiridos, pois algumas empresas apesar de divulgarem seus relatórios seguindo um formato padrão sugerido pela *Global Reporting Initiative* (GRI), não disponibilizam todas as informações recomendadas pela organização. Por esse motivo, nem todas as empresas que divulgaram seus Relatórios de Sustentabilidade foram selecionadas para análise.

A partir da definição do critério de seleção das empresas, concluiu-se que para a utilização dos Indicadores de Sustentabilidade mais presentes nos Relatórios, foi possível a utilização dos dados de sete principais empresas do setor.

Os Indicadores selecionados buscaram relacionar as dimensões econômica e ambiental da Sustentabilidade, sendo eles:

- 1) Resíduos (ton): Soma do peso dos resíduos perigosos e não perigosos gerados;
- 2) Água (m³): Total de água retirada;
- 3) Escopo 1 (ton de CO₂): Total de emissões diretas de Gases do Efeito Estufa;
- 4) Energia (GJ): Total de energia elétrica requerida na produção;
- 5) Plantio (ha): Área total destinada ao plantio de árvores;
- 6) Produção (ton): Toneladas de papel e/ou celulose produzidos;

- 7) Reciclagem (ton): Peso total de resíduos reciclados;
- 8) Preservação (ha): Área total destinada à preservação de biomas naturais (Área de Preservação Permanente e Reserva Legal) e Reserva Particular do Patrimônio Natural.
- 9) Receita (R\$): Vendas líquidas ou receitas líquidas.

3.3 Aplicação da ferramenta Análise Envoltória de Dados

Para a avaliação dos Indicadores de Sustentabilidade mais adequados para a comparação dos níveis de sustentabilidade entre as empresas utilizou-se o Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo, cujo algoritmo se baseia nas seguintes etapas (SENRA *et al.*, 2007):

- 1) Calcular a eficiência média de cada par *input-output*. Para cada resultado calcula-se a eficiência média entre todas as DMU's;
- 2) Escolher o par *input-output* inicial que gerou a maior eficiência média;
- 3) De posse do par inicial, rodar o modelo com mais uma variável. Incluir variável que ainda não foi incluída no modelo;
- 4) Calcular a eficiência média para cada variável acrescentada;
- 5) Escolher para entrar no modelo a variável com a maior eficiência média seguinte;
- 6) Verificar se o aumento da eficiência foi significativo. Em caso afirmativo, repetir o passo 3. Caso contrário, retirar a última variável incluída e finalizar o processo.

Vale destacar que a eficiência média é a média aritmética entre os resultados de eficiência de cada uma das sete empresas avaliadas fornecidos pela ferramenta DEA.

O Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo leva em conta a identificação dos indicadores que mais contribuem para o aumento da eficiência das DMU's analisadas, de modo que se localizem o mais próximo possível da fronteira. Dessa forma, ao adicionar as variáveis, aquelas que pouco contribuírem para a eficiência média do modelo, podem ser eliminadas da análise.

Este modelo não exige conhecimento para intervenção de um agente de decisão e torna-se interessante para estabelecer relações causais entre as variáveis. Porém, por permitir que poucas DMU's se mantenham na fronteira de eficiência, pode não haver discriminação.

A única intervenção no modelo é a decisão do avaliador em interromper a análise, isto é, quando a inserção de uma nova variável não apresentou o aumento significativo da eficiência média (SENRA *et al.*, 2007).

Dentre os Indicadores de Sustentabilidade selecionados, aqueles que devem ser minimizados (*inputs*) são: Resíduos, Água, Escopo 1, Energia e Plantio. Já os que devem ser maximizados (*outputs*) são: Produção, Reciclagem; Preservação e Receita.

Conforme gerido pelo modelo, inicialmente realizou-se a análise para cada *input-output* possível. Após a classificação das eficiências médias em ordem crescente, variáveis foram adicionadas conforme o

seguinte critério:

- Para cada *input* adicionaram-se os *outputs* iniciando pelo que apresentou maior eficiência média;
- Para cada *output* adicionaram-se os *inputs* da mesma forma que no critério anterior.

4 Resultados e Discussões

Conforme descrito na seção 3.3, a primeira etapa do Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo é a realização de rodadas para cada par *input-output* possível. Esses resultados encontram-se na Tabela 1, sendo que as linhas representam os *inputs*, e as colunas os *outputs*. Os valores da Tabela 1 representam as eficiências médias obtidas na rodada para o par *input-output* na respectiva linha e coluna.

Tabela 1: Eficiências médias para cada par *input-output* possível

	Produção	Receita	Reciclagem	Preservação
Resíduos	0,4917	0,1434	0,4898	0,3094
Água	0,1566	0,1574	0,1482	0,1566
Escopo 1	0,4704	0,1432	0,3092	0,5105
Energia	0,1725	0,1638	0,2867	0,1624
Plantio	0,5205	0,1432	0,3452	0,5606

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A etapa seguinte consiste na adição das variáveis ao par *input-output* com maior eficiência média, a qual foi realizada de duas maneiras: pela adição apenas de *inputs* e pela adição apenas de *output*. Para tanto, partindo de cada um dos *outputs*, selecionou-se seu respectivo par *input* que resultou uma maior eficiência média. Em seguida, novas rodadas foram feitas adicionando outros *inputs*, priorizando aqueles que proporcionaram eficiência média maior, ou seja, uma escala decrescente de eficiência média. O mesmo procedimento foi aplicado partindo de cada um dos *inputs*, seguido da incorporação de outros *outputs*. Para ambos os procedimentos, limitou-se à adição de no máximo dois parâmetros, isto é, três *outputs* para um *input* e vice-versa.

Esse critério de seleção foi adotado, pois, para evitar baixa discriminação dos resultados, deve ser obedecida a relação: o dobro da multiplicação entre o número de *inputs* e *outputs* não deve ser superior ao número de DMU's avaliadas (SOUZA *et al.*, 2017).

Os resultados obtidos com as rodadas realizadas estão representados nas Tabelas 2 e 3, com a adição de *inputs* e *outputs*, respectivamente.

Tabela 2: Adição de inputs a cada um dos outputs avaliados

<i>Output</i>	Produção		
<i>Inputs</i>	Plantio	+Resíduos	+Escopo 1
Eficiências Médias	0,5205	0,7393	0,8664
<i>Output</i>	Receita		
<i>Inputs</i>	Energia	+Água	+Resíduos
Eficiências Médias	0,1638	0,1770	0,1770
<i>Output</i>	Reciclagem		
<i>Inputs</i>	Resíduos	+Plantio	+Escopo 1
Eficiências Médias	0,4898	0,5002	0,5002
<i>Output</i>	Preservação		
<i>Inputs</i>	Plantio	+Escopo 1	+Resíduos
Eficiências Médias	0,5606	0,7560	0,9114

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Foi adotada a seguinte convenção, o sinal positivo (+) refere-se, na Tabela 2, ao acréscimo de mais um *input* à rodada anterior partindo do par *input-output* inicial com maior eficiência média e encerrando com os três *inputs* representados; e na Tabela 3, ao acréscimo de mais um *output* na rodada partindo do par *input-output* com maior eficiência média e encerrando com os três *outputs* representados.

Tabela 3: Adição de outputs a cada um dos inputs avaliados

<i>Input</i>	Resíduos		
<i>Outputs</i>	Produção	+Reciclagem	+Preservação
Eficiências Médias	0,4917	0,6815	0,7413
<i>Input</i>	Água		
<i>Outputs</i>	Produção	+Receita	+Preservação
Eficiências Médias	0,1566	0,3188	0,4793
<i>Input</i>	Escopo 1		
<i>Outputs</i>	Preservação	+Produção	+Reciclagem
Eficiências Médias	0,5105	0,7950	0,8415
<i>Input</i>	Energia		
<i>Outputs</i>	Reciclagem	+Produção	+Receita
Eficiências Médias	0,2867	0,4028	0,5512
<i>Input</i>	Plantio		
<i>Outputs</i>	Preservação	+Produção	+Reciclagem
Eficiências Médias	0,5606	0,7169	0,8805

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A observação e análise dos resultados obtidos possibilitou chegar a algumas conclusões. Primeiramente, pode-se notar que para algumas rodadas não é preciso a adição de uma terceira variável, pois o aumento não é significativo o que, de acordo com o modelo, significa que esta terceira variável pode ser desconsiderada na análise, não sendo um indicador adequado na rodada realizada. Esta ocorrência pode ser claramente observada na Tabela 2, nos *outputs*: Receita e Reciclagem. A adição de um terceiro *input* não provocou aumento da eficiência. Uma análise criteriosa individual possibilitaria a exclusão de outras variáveis, caso o avaliador conclua não ocorrer crescimento significativo nos valores de eficiência.

Em seguida, observa-se que não necessariamente um par *input-output* apresenta maior eficiência média exclusivamente um com o outro. Isto é, o parâmetro Resíduos apresenta maiores valores de eficiência média com o parâmetro Produção, entretanto o mesmo parâmetro Produção apresenta maior valor de eficiência média com o parâmetro Plantio. Essas relações de maiores eficiências médias em ordem de prioridade de acordo com cada par *input-output* possível estão ilustradas na Tabela 4. Foi atribuída a escala de 1 a 5 na parte superior das células para classificar a maior relação de eficiência média daquele *input* com relação ao *output* da respectiva coluna, sendo 1 o maior e 5 o menor valor. Da mesma forma atribuiu-se a escala de 1 a 4 na parte inferior das células para numerar da maior para a menor eficiência média daquele *output* com relação ao *input* da linha de referência.

Tabela 4: Conclusões com base nas eficiências médias mais altas

INPUTS	OUTPUTS				<i>Match Input</i>
	Produção	Receita	Reciclagem	Prevenção	
Resíduos	2 1	3 4	1 2	3 3	2
Água	5 2	2 1	5 3	5 2	1
Escopo 1	3 2	4 4	3 3	2 1	1
Energia	4 2	1 3	4 1	4 4	2
Plantio	1 2	4 4	2 3	1 1	3
<i>Match Output</i>	2	2	2	3	

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Denominou-se *Match Output* como a soma do número de parâmetros que apresentou maior eficiência média com o *output* definido, por exemplo, o parâmetro Produção apresenta maior eficiência média com o *input* Resíduos e Plantio. Enquanto *Match Input* é a soma do número de parâmetros que apresentou maior eficiência média com o *input* definido, por exemplo, Resíduos apresenta maiores valores de eficiência média com os parâmetros Produção e Reciclagem.

A seguir são esclarecidas as análises individuais de cada variável selecionada para a aplicação do modelo a partir da observação da Tabela 4.

4.1 Análise dos *Match Outputs*

Observa-se que o *output* Produção apresentou maiores valores de eficiência média para os *inputs* Resíduos e Plantio. Esse resultado pode ser interpretado como uma relação causal entre a entrada e saída de materiais no processo de produção do papel. Dessa forma, os *inputs* Energia, Água e Escopo 1 apresentam relações causais, porém indiretas. Seria válida a análise da variação nos valores de eficiência com a introdução dos demais indicadores referentes à produção, como por exemplo, saída de efluentes e entrada de outras matérias-primas, como o licor branco, responsável pela separação da celulose dos demais componentes da madeira.

O parâmetro Receita apresentou *Match Output* apenas com Energia e Água. Pode-se interpretar que o consumo energético de uma organização tem influência direta em faturamento, da mesma forma que a Água. Portanto, reduzir os gastos com energia e consumo de água seria a melhor alternativa para aumentar a eficiência produtiva da empresa e, conseqüentemente, aumentar a sua Receita. Para complementação desta relação pode ser estudada as influências sobre o uso de fontes de energias renováveis e não renováveis na Receita.

O parâmetro Reciclagem apresentou maiores valores de eficiência com os *inputs* Resíduos e Energia. Este resultado pode ser interpretado de forma que a Reciclagem é diretamente proporcional à geração de resíduos e ao gasto energético da planta, isto é, grande parte da energia é gasta para tratamento dos resíduos gerados pela indústria.

O parâmetro Preservação apresentou *Match Output* com os *inputs* Escopo 1 e Plantio. Uma relação que poderia ser estabelecida é o fato dessas áreas de cultivo serem as principais responsáveis pela captura dos Gases de Efeito Estufa (GEE) lançados diretamente na atmosfera. O modelo também pode ter identificado proporções entre as áreas destinadas ao Plantio e à Preservação, aumentando a eficiência média de cada empresa.

4.2 Análise dos *Match Inputs*

A partir da Tabela 4 pode-se evidenciar que o indicador Resíduo é adequado na análise da eficiência das empresas de papel e celulose quando analisado juntamente com os Indicadores Produção e Reciclagem, os quais podem estar relacionados ao balanço material da produção e à reciclagem dos rejeitos gerados.

O *input* Água apresentou maior eficiência média apenas com o *output* Receita e em menor proporção com os parâmetros Produção e Preservação. Considerando a crescente preocupação com os recursos hídricos é válida a busca por outros indicadores que possam demonstrar relação mais direta entre um par *input-output* ao invés das observadas neste estudo.

Da mesma forma que o parâmetro Água, o *input* Escopo 1 apresentou maior eficiência média apenas com o *output* Preservação, talvez pelo fato desses indicadores se balancearem, uma vez que essas áreas capturam as emissões de GEE lançadas na atmosfera. Dependendo do objetivo da análise, este indicador poderia ser desconsiderado, não apresentando relação causal entre um e outro. Para estudos futuros, poderiam ser analisados outros indicadores para avaliação da eficiência das empresas no que diz respeito a este *input*.

O parâmetro Energia apresentou *Match Input* com os *outputs* Receita e Reciclagem. Portanto, mostra-se como um importante fator para análise da eficiência de empresas de papel e celulose. Dessa forma é válida a ampliação do estudo para identificação de outras relações que a Energia possa ter com outros indicadores para avaliação da sustentabilidade do setor papelero e conseqüentemente melhora de sua eficiência.

O *input* Plantio apresentou eficiência máxima com Produção e Preservação. Esse resultado pode evidenciar uma relação causal com a produção pelo fato de expressar a matéria-prima principal do processo de extração da celulose; e ter apresentado grande eficiência com Preservação por serem semelhantes entre si.

5 Considerações Finais

O Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo tem sido pouco empregado nas aplicações com a Análise Envoltória de Dados, sendo sugerido apenas para análises mais complexas para seleção de variáveis a serem utilizadas na ferramenta DEA. Contudo, este estudo demonstrou que este método é de fácil aplicação e os resultados obtidos são coerentes e com relações causais evidentes. Vale destacar a necessidade de um número elevado de rodadas a serem realizadas a fim de possibilitar conclusões adequadas.

Ressalta-se a necessidade de estudos sobre o setor papelero no Brasil, pois esse setor apresenta grande relevância econômica no País. Ademais, o setor papelero é considerado altamente poluidor por utilizar e gerar produtos químicos prejudiciais ao meio ambiente. Por esse motivo é extremamente importante avaliar a eficiência das empresas de papel e celulose, principalmente no que diz respeito à sustentabilidade.

A partir da aplicação do método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo foi possível analisar quais indicadores são mais adequados na avaliação da eficiência das empresas, apresentando quais variáveis deveriam ser consideradas para determinada análise, estabelecidas as possíveis relações causais entre os indicadores testados. O estudo realizado poderia ser aprofundado com o suporte da experiência de pessoas que ocupam cargos de gestão no setor papelero.

A aplicação do Método *I-O Stepwise* Exaustivo Completo apresentou flexibilidade na utilização, uma vez que um mesmo parâmetro, seja ele *input* ou *output*, em geral obteve boa relação com mais de um de seus opostos. Como já exemplificado anteriormente, o *input* Resíduos demonstrou dentre os *outputs*, maior eficiência média com a Produção, porém, não necessariamente este mesmo *output* apresenta maior valor de eficiência média dentre todos os *inputs*. Da mesma forma, o *output* Reciclagem apresenta maior eficiência média com o *input* Resíduos, o qual apresenta maior eficiência média com o *output* Produção.

Portanto, a partir dos resultados obtidos, podem ser realizadas novas análises mesclando *inputs* e *outputs*, utilizando mais de um deles para um maior número de empresas avaliadas, complementando este estudo sobre a aplicação de Indicadores de Sustentabilidade no Modelo DEA, a fim de avaliar a eficiência dessas empresas e sua preocupação ambiental e econômica de acordo com o Desenvolvimento Sustentável.

Referências

- BARBOSA, C. M. F. O surgimento do direito ambiental no Brasil, sua evolução e o cumprimento da agenda 2030. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 4, p. 2415 – 2430, 2022. DOI: 10.48017/dj.v7i4.2061
- BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é, o que não é**. Petrópolis (RJ): Vozes, 2012.
- COVINICH, L. G.; BENGOCHEA, D. I.; FENOGLIO, R. J.; AREA, M. C. Advanced oxidation processes for wastewater treatment in the pulp and paper industry: a review. **American Journal of Environmental Engineering**, v. 4, n. 3, p. 56-70, 2014.
- DOČEKALOVÁ, M. P.; DOUBRAVSKÝ, K.; DOHNAL, M.; KOČMANAVÁ, A. Evaluations of corporate sustainability indicators based on fuzzy similarity graphs. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 108-114, 2017.
- HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington: World Resources Institute, 1995.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual**, 2022. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2022.
- MACIEL, H. M.; KHAN, A. S. O Índice de Ecoeficiência em âmbito internacional: uma análise comparativa do desempenho de 51 países entre os anos de 1991 e 2012. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 1, p. 125-140, 2017. doi:10.18472/SustDeb.v8n1.2017.21089
- MARQUES, L. Brasil, 200 anos de devastação. O que restará do país após 2022? **Estudos Avançados**, v. 36, n. 105, p. 169-184, 2022. DOI: 10.1590/s0103-4014.2022.36105.011
- MEZA, L. A.; NETO, L. B.; MELO, J. C. C. B. S. de.; GOMES, E. G. ISYDS-Integrated System for Decision Support (SIAD-Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.
- ONU. Organização das Nações Unidas. **A Agenda 2030**, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 03 dez. 2022.
- PIOTTO, Z. C. Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel-Estudo de Caso. 2003. 379 fls. **Tese** (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2003.
- RAMOS, W. F.; RUIVO, M. L. P.; JARDIM, M. A. G. SOUSA, L. M. de. Geração de resíduos madeireiros do setor de base florestal na Região Metropolitana de Belém, Pará. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1823-1830, 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835341>
- SANTOS, H. F.; SILVA, M. L. da; SOARES, N. S.; DINIZ, F. F.; COELHO JÚNIOR, L. M. Brazil's competitiveness in exportation of forest products from 2008 to 2018. **Revista Árvore**, v. 46, e4617, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820220000017>
- SENRA, L. F. A. de C.; NANCI, L. C.; MELLO, J. C. C. B. S. de.; MEZA, L. A. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/ZC6wjvGbXJJjbdzfVnMwtCx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- SOUZA, P. C.; SCATENA, J. H.; KEHRIG, R. T.; SOUZA, B. S. Seleção de variáveis *inputs* e *outputs* na análise envoltória de dados aplicada a hospitais. **Revista de Administração em Saúde**, v. 17, n. 69, 2017. <http://dx.doi.org/10.23973/ras.69.57>
- SUGUIY, T. Eficiência versus satisfação no transporte público: um estudo das práticas nas cidades brasileiras. 2017. 160 fls. **Tese** (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2017.

UPADHYAY, A. Sustainability: overview and concepts. **The International Journal of Innovations in Business**, v. 1, n. 4, p. 268-273, 2012.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2006.