

## PROPOSTA DE UM INDICADOR PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE EMPRESAS FABRICANTES DE FILTROS DE ÁGUA CERÂMICOS

### PROPOSAL OF AN INDICATOR FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF CERAMIC WATER FILTER MANUFACTURING COMPANIES

Marcelo Giroto Rebelato\*  E-mail: [marcelo.giroto@unesp.br](mailto:marcelo.giroto@unesp.br)

Andréia Marize Rodrigues\*  E-mail: [andreia.marize@unesp.br](mailto:andreia.marize@unesp.br)

Namíbia Esteves Scarpin\*  E-mail: [na\\_scarpin@hotmail.com](mailto:na_scarpin@hotmail.com)

\*Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, SP, Brasil.

**Resumo:** A indústria cerâmica está presente no mundo todo, porém a pesquisa acadêmica sobre os impactos ambientais desse tipo de fabricação ainda apresenta uma lacuna importante no que diz respeito à sua análise em termos de desempenho ambiental a partir dos resíduos gerados. Este artigo propõe um indicador (*IAIC* - Indicador do Impacto Ambiental da Indústria Cerâmica) para avaliar o desempenho ambiental dos processos de fabricação de filtros de água cerâmicos. O desenvolvimento do indicador combina a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com um Método de Decisão Multicritério (MCDM) e é orientado para considerar o impacto dos resíduos na saúde ambiental. Sua estimativa é baseada: no cálculo do impacto ambiental potencial dos resíduos; na quantidade de resíduos produzidos pela empresa ao longo de um determinado período; na cobertura geográfica relativa que cada resíduo pode atingir; na avaliação da adequação do descarte dos resíduos gerados pela empresa. O indicador proposto foi testado em um fabricante brasileiro de filtro de barro. Os resultados mostraram que a gestão de resíduos na empresa não é adequada. O resíduo que oferece com maior impacto ambiental foi o gás resultante da queima do GLP utilizado no cozimento das peças cerâmicas. A novidade deste estudo está no indicador desenvolvido, que foi projetado para considerar tanto aspectos intrínsecos do resíduo gerado quanto o gerenciamento desse resíduo pela empresa.

**Palavras-chave:** Indicador de Desempenho Ambiental. Resíduos Industriais. Indústria Cerâmica. Avaliação de Impacto Ambiental. Sustentabilidade.

**Abstract:** The ceramics industry is present all over the world, but academic research into the environmental impacts of this type of manufacturing still has a significant gap when it comes to analyzing its environmental performance in terms of the waste generated. This article proposes an indicator (*IAIC* - Ceramic Industry Environmental Impact Indicator) to assess the environmental performance of ceramic water filter manufacturing processes. The development of the indicator combines Life Cycle Assessment (LCA) with a Multicriteria Decision Method (MCDM) and is geared towards considering the impact of waste on environmental health. Its estimation is based on: calculating the potential environmental impact of waste; the amount of waste produced by the company over a given period; the relative geographical coverage that each waste can reach; and assessing the suitability of the disposal of waste generated by the company. The proposed indicator was tested at a Brazilian clay filter manufacturer. The results showed that the company's waste management is inadequate. The waste that had the greatest environmental impact was the gas resulting from burning the LPG used to fire the ceramic pieces. The novelty of this study lies in the indicator developed, which was designed to consider both intrinsic aspects of the waste generated and the company's management of this waste.

**Keywords:** Environmental Performance Indicator. Industrial Waste. Ceramic Industry. Environmental Impact Assessment. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

A Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) é um instrumento legal e gerencial executado pelas empresas com o objetivo de modo a determinar, mensurar e tornar público o comportamento ambiental da organização, conferindo à empresa segurança na conformidade à legislação ambiental. A ADA necessita lançar mão de indicadores ambientais, que representam e sintetizam o efeito das atividades de fabricação no meio ambiente. Por meio da ADA pode-se aferir o grau de toxicidade de cada rejeito e mostrar os efeitos das atividades de fabricação, de modo que avaliação da eficiência das ações e procedimentos utilizados no tratamento dos resíduos pelos gestores sirvam como guia à mitigação dos riscos ambientais (Naime, 2005; Fagundes *et al.*, 2016). A ADA faz uso contínuo de coleta de dados técnicos, geográficos, biofísicos, estatísticas e informações de campo com o objetivo de diagnosticar as ações ambientais da empresa, assim como o controle da sua direção ao longo do tempo (Costa, 2010; Trujillo-Gallego *et al.*, 2021). Dentro da ADA, os Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA) ocupam uma posição central na contenção de desastres, na melhoria do gerenciamento de resíduos, na redução do consumo de insumos naturais e no cumprimentos das normas legais (Fang, 2001).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos foi um grande avanço para o Brasil no que tange à sustentabilidade ambiental. Ela dispõe sobre princípios, objetivos, e instrumentos relativos à gestão de resíduos sólidos e as responsabilidades dos geradores e do poder público. Essa lei trouxe ao Brasil inovações com relação às responsabilidades dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e cidadãos no manejo dos recursos sólidos. A lei estabelece, para a coleta, o transporte, e a destinação final dos resíduos, diretrizes para as empresas em termos de segurança, equipes de trabalho, confiabilidade e agilidade, além de impor esforço na redução da geração de resíduos. A lei imputa a necessidade de responsabilidade compartilhada no ciclo de vida dos produtos, a implantação de logística reversa, a eliminação de lixões, a reciclagem e reutilização de materiais (Jabour *et al.*, 2014; Brasil, 2010).

A indústria cerâmica brasileira fabrica uma variedade de produtos a partir de cerâmica branca (como louça sanitária), revestimentos (pisos), produtos em cerâmica vermelha (como tijolos, telhas, talhas), abrasivos, corantes, isoladores elétricos, materiais refratários, isolantes térmicos (como fibras térmicas), entre outros. Os

impactos dos resíduos gerados durante a fabricação de produtos cerâmicos, por sua vez, abrangem impactos na etapa de extração da argila, eficiência energética na fabricação, uso da água, poluição do ar por gases na exaustão, cinzas, assoreamento de rios, peças cerâmicas quebradas, entre outros (Natreb, 2021). As argilas, matérias-primas dessa indústria, são compostos naturais formados por silicato de alumínio, principalmente. Em termos mineralógicos, existem vários tipos de argila, como a argila refratária, a argila bentonítica, a argila calcítica, gibbsítica, entre outras, cada uma delas com propriedades próprias em termos de resistência térmica e plasticidade (Motta *et al.*, 2004).

Dentro desse contexto, este trabalho tem o seguinte problema de pesquisa: como desenvolver um indicador para avaliar o desempenho ambiental de uma indústria de filtros de água cerâmicos? Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um indicador de avaliação de desempenho ambiental para a indústria de filtros de água cerâmicos.

A indústria de filtros de barro no Brasil teve seu período de maturidade na década de 1980. A partir da década de 1990 os filtros de água cerâmicos tiveram suas vendas declinantes. Desse modo, muitas empresas brasileiras deixaram de produzir filtros pois, sem as vendas, foram à falência. No entanto, algumas empresas no Brasil ainda continuam a produzir filtros de água cerâmicos, algumas visando principalmente o mercado internacional com exportação para países do Oriente Médio, onde esse tipo de filtro é muito valorizado. No Brasil, verifica-se que famílias de baixa renda ainda dão preferência aos filtros de água cerâmicos, principalmente na região nordeste do país (Bellingieri, 2006).

A integração e harmonização de diferentes métodos científicos, como avaliação dos impactos ambientais e técnicas de tomada de decisão é um verdadeiro desafio na investigação moderna. Entretanto, essa estratégia de desenvolvimento não só melhora a consistência e coerência dos resultados, mas também garante que as decisões sejam baseadas numa compreensão abrangente e interdisciplinar das questões ambientais.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A medição de desempenho auxilia as empresas a determinarem o nível de desenvolvimento ou estagnação de um processo e fornece informações adequadas

para que ações preventivas e/ou corretivas possam ser tomadas na busca das metas e objetivos definidos. O que não pode ser medido, não pode ser controlado. A medição é o ponto de partida para a melhoria do desempenho. A medição permite que se entenda onde se está e se estabeleça metas para o avanço. Dessa forma, o sistema de medição de desempenho de uma organização deve apoiar a estratégia da organização e fornecer informações essenciais para que a empresa alcance um melhor desempenho (Heizen *et al.*, 2013).

Monitorar o processo é observá-lo, verificar os resultados, acompanhar as saídas e analisar esses resultados. O monitoramento do desempenho ambiental das empresas de manufatura tornou-se uma prioridade para aquelas que procuram alinhar as suas atividades com as crescentes exigências de sustentabilidade e responsabilidade social (Campos; Melo, 2008). Medir o desempenho ambiental ajuda a desenvolver estratégias para a sustentabilidade dos processos produtivos. Além disso, fornece informações para o *benchmarking* entre empresas, facilitando o monitoramento do progresso e a avaliação do nível de desenvolvimento em comparação com outras organizações (Antonov; Sellitto, 2011).

A medição do desempenho na área ambiental envolve a análise de indicadores que reflitam o grau impacto potencial das atividades produtivas no meio ambiente e aos seres humanos. Estes indicadores devem abarcar variáveis tais como taxa de consumo de recursos naturais, volume de emissões de gases e material particulado, massa de resíduos e efluentes gerados e quantidade de energia demandada. A integração destes aspectos na medição do desempenho organizacional fomenta práticas mais sustentáveis, auxiliando as empresas no cumprimento tanto de objetivos financeiros, quanto das obrigações ambientais impostas pelas exigências regulatórias e de mercado (Silveira *et al.*, 2017). Portanto, o desempenho ambiental das atividades empresariais não pode ser analisado sem o desenvolvimento de indicadores que permitam a comparação interna dos requisitos ambientais entre as diferentes áreas da empresa e a comparação dos requisitos ambientais externos entre atividades da cadeia produtiva ou entre empresas (Ramalho; Sellitto, 2013).

Os indicadores de desempenho ambiental (IDAs) constituem instrumentos utilizados para avaliar e monitorar o impacto ambiental das operações, processos ou produtos de uma empresa. Desse modo, são úteis na compreensão e na resposta aos impactos negativos. Ajudam a gerir desde o consumo de água, energia e matérias primas até as emissões de poluentes e a gestão de resíduos. Por meio de norma como

a ISO 14001, as empresas podem padronizar seus procedimentos de gerenciamento de extração de recursos, emissão de poluentes, dejetos e efluentes. Essa norma destaca a necessidade de implementação de indicadores de sustentabilidade. Portanto, a utilização estratégica dos IDAs não somente fortalece os esforços de sustentabilidade ambiental, mas também orienta os gerentes e diretores nas decisões, fomentando um melhor alinhamento legal e ambiental. As análises fornecidas pelos IDAs facilitam a otimização de recursos, impulsionam a busca por melhorias e facilitam progressos no desempenho ambiental e organizacional (Wang *et al.*, 2020; Johnstone, 2022; Thérivel, 2008; Streimikiene e Šivickas, 2008; Oliveira *et al.*, 2023).

IDAs devem estar presentes em relatórios de sustentabilidade ambiental. Calixto (2013) relata que esforços internacionais reunindo diferentes atores anunciaram a padronização de indicadores socioambientais de variáveis físicas e/ou financeiras das empresas. Por exemplo, a *Global Reporting Initiative* (GRI) foi desenvolvida nos Estados Unidos, em 1997, com o objetivo de melhorar a qualidade das informações socioambientais disponíveis e dos riscos de desempenho. O GRI foi estabelecido como um padrão internacional para o desenvolvimento de uma abordagem consistente ao desempenho social e ambiental através de relatórios. A padronização e divulgação das diretrizes da GRI são voluntárias. O relatório organizado de acordo com as diretrizes da GRI requer três fatores inter-relacionados que se aplicam a uma organização: os aspectos sociais, ambientais e econômicos de suas operações. Os indicadores propostos podem ser empregados por qualquer companhia, desde que tenha comprometimento em divulgar essas informações de acordo com as diretrizes recomendadas.

Com a ajuda dos Métodos de Decisão Multicritério (MDMC), a ADA recebeu melhorias metodológicas. Como existem diversas alternativas de decisão em relação a múltiplos critérios ambientais simultâneos, à cada alternativa, pode-se atribuir um valor de desempenho conforme cada critério, permitindo uma avaliação mais eficiente. Por outro lado, em condições ambientais visualizadas na prática, os critérios de decisão podem apresentar-se em conflito mútuo. Por exemplo, uma decisão de menor emissão gasosa na atmosfera pode aumentar o custo de produção (Ahmad *et al.*, 2023). Nesse contexto, os MDMC fornecem alternativas para ponderar e equilibrar os critérios conflitantes permitindo uma decisão mais bem ponderada. De outra forma, os MDMC permitem enriquecer a análise na medida em que envolvem interesses de diferentes partes no processo decisório, como por exemplo, os *stakeholders*. Sob outro

aspecto, diferentes métodos MDMC podem ser selecionados com base na especificidade do desafio ambiental. Alguns dos métodos comuns incluem a Análise Hierárquica (AHP), a Análise por Envolvente de Dados (DEA) e a Lógica *Fuzzy* (Liu *et al.*, 2020). Por outro lado, o MDMC pode incluir a estimativa de incertezas e a anexação de informações qualitativas e dessa forma, proporcionar melhorias metodológicas na medida em que incorpora melhor a complexidade do problema ambiental. Tem-se visto que, na prática, muitos pesquisadores combinaram as ferramentas de Análise de Ciclo de Vida (ACV) de seus estudos (individualmente ou em conjunto) com diferentes MDMC (De Luca *et al.*, 2017).

A ACV é uma ferramenta de apoio à gestão, uma técnica de avaliação quantitativa que visa determinar os impactos ambientais associados ao desempenho de um produto, processo ou característica de serviço. A ISO 14040 estabeleceu, para a ACV, quatro etapas para a sua condução: 1) Definição de objetivos e escopo; 2) Análise do inventário; 3) Avaliação dos impactos ambientais; 4) Interpretação dos resultados (Kulay *et al.*, 2010).

O método ReCiPe 2016 é um método de ACV atualizado a partir do antigo ReCiPe2008. O ReCiPe fornece uma implementação de raciocínios de causa-efeito para o cálculo de fatores de caracterização de *midpoint* e *endpoint*. A atualização do ReCiPe se concentrou em fornecer fatores de caracterização que sejam representativos para a escala global, mantendo a possibilidade para implementar fatores de caracterização em um país ou continente. No nível *midpoint*, que é o nível mais utilizado e apreciado pelos pesquisadores, as seguintes categorias de impacto estão presentes: mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio, radiação ionizante, formação de partículas finas, formação de oxidante fotoquímico para ecossistemas terrestres, formação de oxidante fotoquímico para saúde humana, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, toxicidade humana para câncer, toxicidade humana para não câncer, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, uso da terra e uso da água (Huijbregts *et al.*, 2017).

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um MDMC notadamente eficaz em circunstâncias complexas em que as afinidades hierárquicas entre os critérios e as alternativas exercem um papel importante na tomada de decisão. Também é um método amplamente utilizado em decisões envolvendo alternativas de avaliação ambiental. Por esses motivos, o AHP torna-se uma ferramenta essencial para pesquisadores e gestores que buscam soluções eficazes e equilibradas para os

desafios ambientais. O AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, sendo amplamente utilizado em situações em que é necessário avaliar e comparar alternativas em relação a vários critérios, levando em consideração a hierarquia desses critérios. A estrutura do AHP envolve a decomposição de um problema complexo em uma hierarquia de elementos, desde o objetivo geral até os elementos mais específicos. Essa hierarquia é composta por níveis, onde o nível mais alto representa o objetivo geral e os níveis mais baixos representam os elementos mais específicos. O AHP identifica os critérios e alternativas relevantes em uma hierarquia. Constrói uma matriz de comparação paritária, por meio da qual os elementos em cada nível da hierarquia são emparelhados dois a dois, e os decisores atribuem valores às comparações entre esses elementos com base em sua importância relativa. Essa atribuição não é necessariamente subjetiva, ou seja, podem ser atribuídos valores quantitativos. Em seguida, calcula os vetores de prioridade, ou seja, com base nas comparações pareadas, os vetores de prioridade são calculados para cada nível da hierarquia. Esses vetores refletem a importância relativa dos elementos em cada nível. Depois disso, calcula a consistência da matriz de modo a verificar a consistência das comparações feitas pelos decisores. Sendo a matriz não consistente, os decisores podem ser solicitados a refazer as comparações. Em seguida, os vetores de prioridade são combinados para calcular as prioridades globais para cada alternativa em relação ao objetivo geral. Finalmente, analisa a estabilidade dos resultados em relação a possíveis mudanças nas comparações pareadas (Madzík & Falát, 2022; Ho, 2008).

### **3 MÉTODO**

A pesquisa classifica-se como exploratória, pois busca explorar novas formas de avaliação ambiental, sendo de natureza aplicada, focada em resolver um problema prático ao desenvolver um indicador para medir o desempenho ambiental. O estudo segue o modelo de teste em campo, onde aplica-se o indicador desenvolvido a uma indústria de filtros cerâmicos. A coleta de dados foi realizada por meio de documentação disponibilizada pela empresa e observação direta do processo produtivo. A análise de dados é quantitativa, baseada em métodos de decisão multicritério e cálculos de potenciais de impacto ambiental (Oliveira, 2011).

As etapas de desenvolvimento do indicador em si seguiram a sua racionalidade, ou seja, a sua fundamentação lógica e científica para avaliar o processo produtivo, capturando a extensão e a complexidade do fenômeno ambiental a ser medido. Dessa forma, a lógica do indicador foi estabelecida e modo a ser diretamente proporcional:

- a) Ao impacto potencial ambiental relativo dos resíduos - o cálculo dos impactos potenciais baseia-se no método ReCiPe;
- b) À dispersão espacial relativa que cada resíduo pode abranger - a dispersão espacial de cada resíduo é afetada pela sua rota de eliminação (ar, água ou solo), pela sua composição química e pelo seu estado físico primário;
- c) À avaliação da adequação da disposição de resíduos praticada pela empresa em estudo - uma vez que a disposição pode ser feita de uma forma ambientalmente correta ou incorreta;
- d) À massa de resíduos gerados pela empresa fabricante durante o ano.

O método desenvolvido desdobrou-se em cinco etapas. Em primeiro lugar, foram identificados os resíduos produzidos em cada operação fabril, determinando a origem no processo produtivo e sua composição (Tabela 1). O papelão é um resíduo gerado na etapa de embalagem dos filtros e no recebimento de insumos embalados em caixas de papelão. As lâmpadas são utilizadas na secagem das partes de argila úmida que foram moldadas. O óleo hidráulico é utilizado na moldagem das peças argilosas para que não grudem no molde. Os restos de cerâmica (do filtro) são gerados quando ocorre a quebra de peças dos filtros, feitos em argila, que já foram cozidas no forno. Depois de cozidas, as peças que se quebram eventualmente durante o processo devem ser descartadas pois não podem ser reutilizadas no processo produtivo. Os gases provenientes da queima do GLP são gerados na fabricação das velas filtrantes. Essas velas são de argila e devem também ser cozidas em forno próprio por 14 horas a 1160 graus C. Caso a vela filtrante tenha algum defeito, estas são descartadas, pois não há como reutilizar, gerando resíduos (restos de cerâmica das velas). O plástico é um resíduo gerado na fabricação das peças plásticas do filtro tais como tampa, porca, torneira, arruela e vedador. A peça plástica, ao sair do molde, sempre carrega pedaços de plástico sobressalente que devem ser descartados. Resíduos de plástico também são gerados na etapa de embalagem.

**Tabela 1** - Resumo dos resíduos da produção de filtros cerâmicos

Resíduo	Origem	Composição
Papelão	Embalagem dos filtros	Carbono (C), Nitrogênio (N), Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), Óxido de Fósforo (K <sub>2</sub> O), Óxido de Cálcio (CaO), Óxido de Magnésio (MgO), Enxofre (S), Cobre (Cu), Zinco (Z), Ferro (Fe), Manganês (Mg), Sódio (Na), Boro (B), Chumbo (Pb), Níquel (Ni), Cádmi (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Molibdênio (Mo), Cobalto (Co), Alumínio (Al)
Lâmpadas	Aquecimento das peças	Cálcio (Ca), Fósforo (P), Flúor (F), Manganês (Mn), Cloro (Cl), Antimônio (Sb), Ferro (Fe), Cádmi (Cd), Mercúrio (Hg), Alumínio (Al), Chumbo (Pb), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Estrôncio (Sr)
Óleo Hidráulico	Lubrificação das máquinas	Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo)
Gases provenientes da queima do GLP	Queima (forno)	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ), Metano (CH <sub>4</sub> ), Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)
Restos de Cerâmica (Filtro)	Queima (Forno)	Dióxido de Silício (SiO <sub>2</sub> ), Trióxido de Alumínio (AlO <sub>3</sub> ), Óxido de Ferro (III) (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O), Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O), Óxido de Cálcio (CaO), Óxido de Magnésio (MgO), Óxido de Manganês (II) (MnO), Dióxido de Titânio (TiO <sub>2</sub> ), Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Restos de Cerâmica (Velas Filtrantes)	Queima (Forno)	Filito e Caulim
Plástico	Montagem e embalagem	Polipropileno (PP), Poliestireno (PS Auto impacto e PS Cristal) e Cloreto de Polivinila (PVC)

Fonte: Autores (2021).

Em segundo lugar, realizou-se o cálculo dos potenciais de impacto ambiental por meio do método ReCiPe 2016 (Huijbregts *et al.*, 2017). As categorias de impacto utilizadas foram:

1. Mudança climática
2. Acidificação terrestre
3. Eutrofização da água doce
4. Eutrofização marinha
5. Toxicidade humana
6. Formação de Ozônio fotoquímico
7. Material particulado
8. Ecotoxicidade terrestre;
9. Ecotoxicidade da água doce;
10. Ecotoxicidade marinha;

O impacto potencial para cada resíduo, dentro das categorias ambientais do método ReCiPe 2016, foi calculado segundo a expressão 1:

$$li,j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Qi,j \cdot wi \quad (1)$$

Onde:

- $li,j$  é o impacto potencial para a intervenção (substância)  $i$  (para o ponto médio) na categoria  $j$ ;
- $Qi,j$  é o fator de caracterização que conecta a intervenção (substância)  $i$  com a categoria de impacto  $j$ ;
- $wi$  é a magnitude (massa) da intervenção  $i$  (por exemplo, a massa de CO<sub>2</sub> liberada no ar);

Na terceira etapa, realizou-se a normalização dos potenciais de impacto ( $li,j$ ). Esta etapa é necessária, pois os cálculos dos impactos por meio da expressão 1 são realizados em dimensões distintas. A normalização de  $li,j$  coloca esses dados numa mesma dimensão (pessoa/ano).

Na quarta etapa, realizou-se a ponderação relativa entre os potenciais normalizados. Nesta etapa, a matriz de impactos potenciais que é construída contendo o impacto potencial de cada resíduo em cada categoria de impacto é transformado numa lista ponderada com os impactos potenciais em listagem crescente. Esta ponderação foi realizada por meio método IAHP (*Improved Analytic Hierarchy Process*). O IAHP é uma evolução do processo de hierarquia analítica (AHP), desenvolvido por Saaty (1991). O IAHP é uma variante do AHP afim de obter resultados mais precisos. Nesta etapa utilizou-se o software *MindDecider* ([www.minddecider.com](http://www.minddecider.com)). Este software possui interface fácil de usar, oferece extensas ferramentas para gerenciamento de tarefas, permitindo a criação fácil de listas de tarefas, priorização, monitoramento do progresso, e adição de comentários, imagens e *hiperlinks* às tarefas. Além disso, fornece opções de análise de sensibilidade e um modo de análise de tempo que permite definir sequências de tempo para objetos e otimizar a distribuição de eventos no tempo conforme condições definidas pelo usuário.

Na quinta etapa, foi realizado o desenvolvimento do Indicador Ambiental da Indústria Cerâmica (IAIC). Este indicador foi pensado de modo a ser diretamente proporcional: à massa de resíduos produzidos; ao impacto potencial relativo de cada resíduo gerado na produção; à dispersão espacial relativa que cada resíduo pode cobrir; à adequabilidade ambiental da disposição final do resíduo pela empresa.

A fórmula do indicador IAIC desenvolvido é (Rebelato *et al.*, 2024 - expressão 2):

$$IAIC = \sum_{i=1}^n Vi . Ai . bi . ki \quad (2)$$

Onde:

**n** = número de resíduos;

**Vi** = peso relativo do potencial de impacto calculado de cada resíduo *i*;

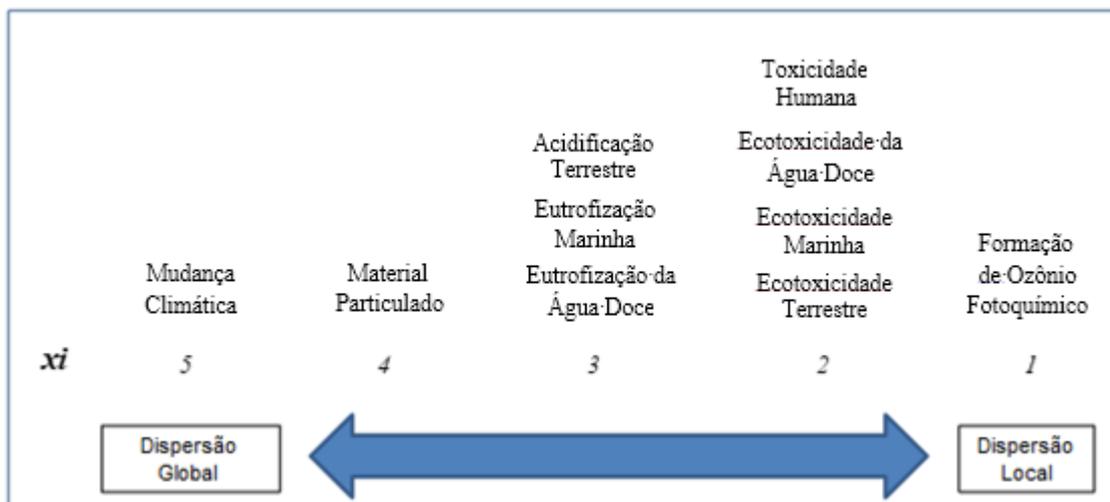
**bi** = massa anual de cada resíduo *i* gerado pelo fabricante;

**Ai** = peso relativo da dispersão especial de cada resíduo *i* (expressão 3):

$$Ai = \frac{xi . 100}{\sum_{j=i}^n xj} \quad (3)$$

**xi** = valor determinado de acordo com a Figura 1;

**Figura 1 - Escopo da faixa de emissão**



Fonte: Autores.

**ki** = categorical assessment factor of the suitability of the allocation

**ki** = coeficiente categórico de avaliação do método de disposição praticado pela empresa para resíduo *i*. K=1 define a destinação incorreta de resíduos. K=0 define o descarte correto do resíduo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar o indicador criado, foram utilizados dados de uma indústria fabricante de filtros de água cerâmicos, onde foram realizadas visitas técnicas e os dados foram coletados por meio de documentação disponibilizada pela empresa. A companhia foi fundada no município de Jaboticabal-SP em março de 1947, possuindo

201 funcionários em operações produtivas e administrativas, com mais de 60 produtos em sua linha, tais como velas filtrantes, boias, torneiras e o filtro de barro, e por ano produz cerca de 250 mil peças de filtros. A quantidade anual de cada resíduo e sua forma de disposição é apresentada na Tabela 2. A empresa vende o resíduo se houver mercado para reprocessamento. Caso contrário o resíduo é simplesmente descartado.

**Tabela 2** - *Quantidade anual de resíduos e respectiva disposição*

<b>Resíduos/Subprodutos</b>	<b>Quantidade Anual (kg)</b>	<b>Disposição</b>
Restos de Cerâmica (Filtro)	3019	Doado para fazer piso
Óleo Hidráulico	3200	Reprocessamento
Lâmpadas	75	Logística reversa
Papelão	21280	Reprocessamento
Gás (GLP)	80000	Lançado no ar
Restos de Cerâmica (Vela Filtrante)	8429	Venda para empresa de jardinagem
Plástico	2716	Reprocessamento

**Fonte:** Autores.

O cálculo do impacto potencial de cada resíduo em cada uma das categorias ambientais é mostrado na Tabela 3. A Tabela 4 traz os potenciais normalizados.

**Tabela 3** - Potenciais de impacto ambiental calculados para cada categoria de impacto

Resíduos	Mudança Climática (kg CO <sub>2</sub> eq)	Acidificação Terrestre (kg SO <sub>2</sub> eq)	Eutrofização da Água Doce (kg P eq)	Eutrofização Marinha (kg N eq)	Toxicidade Humana (kg 1,4-DB eq)	Formação de Ozônio Fotoquímico (kg NMVOC)	Material Particulado (kg PM <sub>10</sub> eq)	Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DB eq)	Ecotoxicidade da Água Doce (kg 1,4-DB eq)	Ecotoxicidade e Marinha (kg 1,4-DB eq)
Restos de Cerâmica (Filtro)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óleo Hidráulico	0	0	0	0	16,48718	0	0	12,96817	0,82875	0,38025
Lâmpadas	0	0	0,06795	0	0,00630	0	0	0,00037	0,00022	0,00013
Papelão	0	0	0	59,58	21,57079	0	0	79,72360	9,04837	4,43030
Gás (GLP)	794437,00	205,01600	0	0	0	183,05000	80,54200	0	0	0
Restos de Cerâmica (Vela Filtrante)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plástico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autores.

**Tabela 4 - Potenciais de impacto normalizados**

Resíduos	Mudança Climática (Pessoa/Ano)	Acidificação Terrestre (Pessoa/Ano)	Eutrofização da Água doce (Pessoa/Ano)	Eutrofização Marinha (Pessoa/Ano)	Toxicidade Humana (Pessoa/Ano)	Formação de Ozônio Fotoquímico (Pessoa/Ano)	Material Particulado (Pessoa/Ano)	Ecotoxicidad e Terrestre (Pessoa/Ano)	Ecotoxicida de da Água doce (Pessoa/Ano)	Ecotoxicidad e Marinha (Pessoa/Ano)
Restos de Cerâmica (Filtro)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óleo Hidráulico	0	0	0	0	0,05057	0	0	2,18687	0,19273	0,15457
Lâmpadas	0	0	0,23431	0	0,00002	0	0	0,00006	0,00005	0,00005
Papelão	0	0	0	8,11717	0,06617	0	0	13,44412	2,10427	1,80094
Gás (GLP)	115,30290	5,36691	0	0	0	3,22840	5,71220	0	0	0
Restos de Cerâmica (Vela Filtrante)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plástico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Fonte:** Autores.

A normalização no método ReCiPe envolve dividir a pontuação de impacto pelo fator de normalização para cada categoria. Esse processo padroniza as pontuações em diferentes categorias de impacto, mostrando a escala relativa dos impactos. Ela permite que os profissionais entendam a significância dos impactos de uma maneira mais intuitiva e auxilia na identificação de quais aspectos ambientais são mais significativos dentro dos resultados do LCA. Os fatores de normalização utilizados para gerar a Tabela 4 acima são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Fatores de Normalização**

<b>Categoria de Impacto Ambiental</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Fator de Normalização</b>
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq/p/ano	6.89E+03
Acidificação Terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq/p/ano	3.82E+01
Eutrofização da Água Doce	kg P eq/p/ano	2.90E-01
Eutrofização Marinha	kg N eq/p/ano	7.34E+00
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq/p/ano	3.26E+02
Formação de Ozônio Fotoquímico	kg NMVOC/p/ano	5.67E+01
Material Particulado	kg PM10 eq/p/ano	1.41E+01
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq/p/ano	5.93E+00
Ecotoxicidade da Água Doce	kg 1,4-DB eq/p/ano	4.30E+00
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq/p/ano	2.46E+00

**Fonte:** Huijbregts *et al.* (2017).

Na próxima etapa, o método IAHP foi aplicado nos dados da Tabela 4 por meio do software *MindDecider*. Dessa forma, os valores de  $V_i$  foram gerados conforme apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Peso relativo dos resíduos em função do potencial de impacto ambiental**

<b>Resíduos</b>	<b><math>V_i</math> (%)</b>
Papelão	42,29
Gás (GLP)	41,11
Lâmpadas	10,30
Óleo Hidráulico	6,30
Restos de Cerâmica (Filtro)	0
Restos de Cerâmica (Vela Filtrante)	0
Plástico	0
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>

**Fonte:** Autores.

Após o cálculo das variáveis  $V_i$ ,  $A_i$  e da determinação das massas ( $b_i$ ) e dos coeficientes categóricos  $k_i$  (Tabela 7), foi possível calcular o  $IA/C$ .

**Tabela 7** - Dados de entrada para o cálculo de IAIC

<b>Resíduo</b>	<b><math>V_i</math> (%)</b>	<b><math>b_i</math> (Kg)</b>	<b><math>A_i</math></b>	<b><math>k_i</math></b>	<b>IAIC</b>
Papelão	0,423	21280	0,2	0	0,0
Gás (GLP)	0,411	80000	0,3333333	1	10960,0
Lâmpadas	0,103	75	0,1333333	0	0,0
Óleo Hidráulico	0,063	3200	0,1333333	0	0,0
Restos de Cerâmica (Filtro)	0	3019	0,0666667	0	0,0
Restos de Cerâmica (Vela Filtrante)	0	8429	0,0666667	0	0,0
Plástico	0	2716	0,0666667	0	0,0
Total	1	118719	1	--	10960,0

**Fonte:** Autores.

Como pode ser visto na Tabela 6, o resíduo com maior peso relativo  $V_i$  calculado foi o papelão (42,29%). O ponto ambiental que chama atenção com relação ao papelão utilizado nas embalagens é que este contém tinta. Essas tintas apresentam um espectro de elementos químicos potencialmente perigosos tais como Z, Fe, Na, B, Pb, Ni, Cd, Cr, Hg, Mo e Co. É um subproduto com alto potencial de impacto em termos de eutrofização marinha, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade da água doce e ecotoxicidade marinha. No entanto, como se pode observar pela Tabela 6, a contribuição do papelão para o indicador IAIC é zero, dado que  $k=0$ . Isto porque a empresa destina todo o papelão para reciclagem, desta forma, a destinação é considerada ambientalmente correta.

O segundo resíduo com maior peso relativo  $V_i$  calculado foram os gases provenientes da queima de GLP (41,11%). A queima do GLP produz os gases  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ . Esses gases possuem alto potencial de impacto ambiental nas seguintes categorias ambientais: mudanças climáticas, acidificação do solo, formação de ozônio fotoquímico e material particulado. Estima-se que a indústria cerâmica em estudo gera anualmente cerca de 231.009,1 kg de  $CO_2$ , 18.305 kg de  $CH_4$ , 366,1 kg de  $N_2O$  por meio da queima de GLP. A participação relativa do GLP na composição do IAIC foi positiva. Isso porque o IAIC é um indicador que avalia a adequação ambiental ponderada do descarte e, neste caso, o  $k_i$  atribuído a esse resíduo foi  $k=1$ . Apesar de não haver ilegalidade no descarte desses gases na atmosfera, são gases que contribuem com o efeito estufa.

O terceiro resíduo em termos de peso relativo ( $V_i$ ) foram as lâmpadas (10,30%). A lâmpada é um resíduo composto de Ca, P, F, Mn, Cl, Sb, Fe, Cd, Hg, Al, Pb, Ni, Zn e Sr. Tem impacto nas categorias de: eutrofização da água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha. Para a empresa estudada, o  $k_i$  atribuído a lâmpada foi  $k=0$ , pois para esse resíduo, a empresa pratica a logística reversa e envia todas as lâmpadas queimadas de volta ao fabricante. Desta forma, sua contribuição para o indicador  $IAIC$  é zero.

O quarto resíduo com maior peso relativo  $V_i$  é o óleo hidráulico com 6,30%. Este resíduo é composto por Zn, Pb, Fe, Mn, Cu e Mo. Tem impacto nas seguintes categorias: toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha. Da mesma maneira que o papelão, a empresa também paga para uma empresa realizar o reprocessamento deste resíduo, portanto,  $k=0$ . Sua contribuição para o indicador  $IAIC$  é zero.

O quinto resíduo (sem peso relativo  $V_i$  calculado) foram os restos de cerâmica (dos filtros), com impacto zero. Os restos de cerâmica são ricos em  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$ . Estes elementos não têm impacto em nenhuma das categorias do método ReCiPe 2016, portanto  $V_i=0$ . Desta forma, os fragmentos cerâmicos não contribuem para o  $IAIC$  calculado. Cem por cento desse resíduo é doado para empresas fabricantes de piso cerâmico. Como este descarte é considerado ambientalmente correto, então  $k=0$ . Dessa forma, a contribuição para o indicador  $IAIC$  é zero.

Os restos de cerâmica (da vela filtrante) e plástico também aparecem com 0% em termos de peso relativo  $V_i$ . Estes resíduos são compostos de filito e caulim, e polipropileno (PP), poliestireno (PS auto impacto e PS cristal) e cloreto de polivinila (PVC), respectivamente, não impactando em nenhuma das categorias analisadas. Os resíduos plásticos são vendidos para reprocessamento e os restos de cerâmica (da vela filtrante) são vendidos para uma empresa de jardinagem, portanto,  $k=0$ .

## 5 CONCLUSÕES

A avaliação ambiental de uma empresa requer a avaliação dos resíduos gerados nos processos industriais e a análise sobre a adequabilidade do seu descarte. No entanto, os tipos de resíduos gerados variam muito dependendo da indústria, o que impede um tratamento metodológico padrão único.

Um setor industrial pouco estudado em termos dos seus impactos ambientais é a indústria de fabricação de filtros de água cerâmicos. Poucos estudos mostram como mensurar o desempenho ambiental das corporações deste setor, especialmente no que diz respeito aos destinos ou descarte dos resíduos gerados durante o processo produtivo. O impacto dos rejeitos gerados pelo processo de fabricação cerâmica na saúde ambiental não é um problema simples, pois os resíduos são amplamente distintos em função de sua composição química e em função do estado físico, o que implica efeitos nocivos diversos à saúde ambiental pela possibilidade de contaminação pelo ar, água ou solo.

A principal novidade deste estudo foi a proposição de um índice para avaliar o desempenho ambiental das operações de fabricação de filtros de água cerâmicos. O indicador *IA/C* foi proposto como uma fórmula básica aplicável a todas as empresas da indústria de filtros cerâmicos que desejam avaliar suas práticas de gestão ambiental. Deve-se ponderar que, ao contrário do que se identifica em estudos acadêmicos similares, não há subjetividade no método de cálculo da ponderação (ponderação de resíduos), pois os dados de entrada do IAHP são os impactos ambientais potenciais calculados por meio do método ReCiPe.

O indicador revelou eficácia e objetividade na análise do desempenho ambiental da empresa em teste. No teste realizado em campo, a empresa obteve um *IA/C* de 10.960 Kg/ano, o que indica que 86% dos resíduos foram descartados de forma inadequada. Contribuiu para esse resultado principalmente os gases provenientes da queima de GLP. Isso resultou em uma baixa eficiência ambiental por parte da empresa, com uma pontuação de 1,4 em uma escala de 0 a 10.

Uma limitação que pode ser identificada no estudo foi quanto ao teste de amplitude limitada do indicador proposto, o qual foi testado apenas em uma empresa, limitando a generalização dos resultados. Ademais, o foco do estudo foi nos resíduos gerados durante as etapas de fabricação, sem considerar outros impactos ambientais, tais como os associados à extração de argilas em campo, ao consumo de água e à logística de transporte.

Para futuras pesquisas, sugere-se ampliar o escopo do indicador para abranger outras etapas da cadeia produtiva, como a mineração de argila, consumo de água, consumo de GLP, consumo de energia elétrica e a distribuição logística. Além disso, o *IAIC* pode facilmente ser adaptado para outras indústrias cerâmicas, o que abre um grande leque de desenvolvimento para a pesquisa acadêmica.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, Q. S.; KHAN, M. F.; AHMAD, N. A Group Decision-Making Approach in MCDM: An Application of the Multichoice Best–Worst Method. **Applied Sciences**, v.13, n.12, p. 6882-6899, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13126882>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ANTONOV, P.; SELLITTO, M. A. Avaliação de desempenho ambiental: estudo de caso na indústria papeleira. **Revista Produção Online**, v.11, n.4, p.1059-1085, out./dez. 2011. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/723/845>. Acesso em: 3 nov. 2020.

BELLINGIERI, J. C. Uma análise da indústria de filtros de água no Brasil. **Cerâmica Industrial**, v.11, n.3, p.31-35, maio/jun. 2006. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876572a7f8c9d6e028b46fa/pdf/ci-11-3-5876572a7f8c9d6e028b46fa.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 11 abr. 2020.

CALIXTO, L. A divulgação de relatórios de sustentabilidade na América Latina: um estudo comparativo. **Revista de Administração**, v.48, n.4, p.828-842, out./dez. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rausp/a/dnhswHwPwDXK6YWCbyVdhYw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 8 fev. 2020.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. **Produção**, v.18, n.3, p.540-555, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132008000300010>. Acesso em: 5 fev. 2020.

COSTA, R. M. **O papel da supervisão ambiental e proposta de avaliação de desempenho ambiental em obras rodoviárias**. 2010. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-08022010-104633/publico/Dissertacao\\_Roberta\\_Maria\\_Costa.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-08022010-104633/publico/Dissertacao_Roberta_Maria_Costa.pdf). Acesso em: 6 jun. 2020.

DE LUCA, A. I.; IOFRIDA, N.; LESKINEN, P.; STILLITANO, T.; FALCONE, G.; STRANO, A.; GULISANO, G. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment**, v.595, p.352-370, 1 out. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971730815X>. Acesso em: 1 nov. 2020.

FAGUNDES, A. B.; PEREIRA, D.; BEUREN, F. H.; CAMPOS, D. B.; SOUSA, A. L. de; SILVA, M. C. Avaliação de desempenho ambiental de organizações com foco na gestão dos resíduos industriais: uma contribuição à implementação da política nacional de resíduos sólidos. **Espacios**, v.37, n.25, p.26, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n25/16372526.html>. Acesso em: 4 fev. 2020.

FANG, L. **Sistemas de Gestão Ambiental**. Brasília, SENAI, 2001. Disponível em: <https://surface.net.br/wp/wp-content/uploads/2023/06/Gestao-ambiental-ISO-14000.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.

HEINZEN, D. A. M.; DIAS, A. B. B.; MARINHO, S. V. Avaliação do sistema de medição de desempenho organizacional de uma instituição de ensino superior de Santa Catarina à luz dos atributos desejáveis. **Meta: Avaliação**, v.5, n.15, p.327-352, 2013. Disponível em: <https://revistas.cesgranrio.org.br/index.php/metaavaliacao/article/view/211>. Acesso em: 5 fev. 2020.

HO, W. Integrated analytic hierarchy process and its applications: a literature review. **European Journal of Operational Research**, v.186, n.1, p.211-228, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.004>. Acesso em: 10 jul. 2020.

HUIJBREGTS, M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; STAM, G.; VERONES, F.; VIEIRA, M.; ZIJP, M.; HOLLANDER, A.; VAN ZELM, R. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **The International Journal of Life Cycle Assessment**,

v.22, n.2, p.138-147, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>. Acesso em: 19 nov. 2020.

JABBOUR, A. B. L. de S.; JABBOUR, C. J. C.; SARKIS, J.; GOVINDAN, K. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.16, n.1, p.7-15, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0600-z>. Acesso em: 3 out. 2020.

JOHNSTONE, L. The means to substantive performance improvements – environmental management control systems in ISO 14001–certified SMEs. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v.13, n.5, p.1082-1108, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-11-2021-0456>. Acesso em: 11 set. 2020.

KULAY, L.; HANSEN, A. P.; SEO, E. S. M. Identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental em processo de produção de materiais cerâmicos via aplicação da técnica de avaliação de ciclo de vida (ACV). **Revista Produção Online**, v.10, n.4, p.912-936, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v10i4.526>. Acesso em: 17 fev. 2025.

LIU, Y.; ECKERT, C. M.; EARL, C. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. **Expert Systems with Applications**, v.161, p.113-138, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>. Acesso em: 15 fev. 2020.

MADZÍK, P.; FALÁT, L. State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: Literature review based on Latent Dirichlet Allocation topic modelling. **PLOS ONE**, v.17, n.5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268777>. Acesso em: 18 dez. 2022.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JÚNIOR, M.; TANNO, L. C.; CUCHIERATO, G. As Matérias-Primas Plásticas para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins. **Cerâmica Industrial**, v.9, n.2, p.33-46, mar./abr. 2004. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876571d7f8c9d6e028b46ae/pdf/ci-9-2-5876571d7f8c9d6e028b46ae.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2021.

NAIME, R. **Diagnóstico ambiental e sistemas de gestão ambiental**. Novo Hamburgo: Feevale, 2005. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2013/07/09/relatorios-de-diagnostico-ambiental-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 1 jul. 2021.

NATREB. **Soluções Inteligentes Para a Indústria**. 2021. Disponível em: <https://natreb.com/cenario-atual-da-industria-ceramista-no-brasil/>. Acesso em: 10 set 2022.

OLIVEIRA, L. D. M.; REBELATO, M. G.; SARAN, L. M. Greening of brick and tile production: an index to evaluate its environmental performance. **Pollution**, v.9, n.1, p.150-168, 2023. Disponível em: <http://doi.org/10.22059/poll.2022.343928.1492>. Acesso em: 11 dez. 2023.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia científica**: um manual para a realização de pesquisas em administração. Catalão: Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, 2011. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual\\_de\\_metodologia\\_cientifica\\_-\\_Prof\\_Maxwell.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf). Acesso em: 2 fev. 2020.

RAMALHO, S. C.; SELLITTO, M. A. Avaliação do desempenho ambiental de uma empresa de tratamento superficial de alumínio. **Revista Produção Online**, v.13, n.3, p.1034-1059, jul./set. 2013. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1357>. Acesso em: 4 out. 2020.

REBELATO, M. G.; RODRIGUES, A. M.; FERREIRA, B. S. Proposal of an environmental performance index to assess leather-manufacturing companies. **Green Technologies and Sustainability**, v.1, n.1, p.100-133, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gts.2024.100033>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: Makron Books, 1991.

SILVEIRA, J. H. P. (Org.). **Sustentabilidade e responsabilidade social**: artigos brasileiros. Volume 1. Belo Horizonte: Poisson, 2017. Disponível em: <https://www.poisson.com.br/livros/sustentabilidade/volume1/Sustentabilidade%20vol1.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

STREIMIKIENĖ, D.; SIVICKAS, G. The EU sustainable energy policy indicators framework. **Environmental International**, v.34, n.8, p.1227-1240, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.04.008>. Acesso em: 3 jun. 2020.

THÉRIVEL, R. **Strategic Environmental Assessment in Action**. London: Earthscan Publications, 2008.

TRUJILLO-GALLEGO, M.; SARACHE, W.; SELLITTO, M. A. Environmental performance in manufacturing companies: a benchmarking study. **Benchmarking: An International Journal**, v.28, n.2, p.670-694, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2020-0225>. Acesso em: 19 dez. 2021.

WANG, C.; CARDON, P. W.; LIU, J.; MADNI, G. R. Social and economic factors responsible for environmental performance: A global analysis. **PLOS ONE**, v.15, n.8, e0237597, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237597>. Acesso em: 19 fev. 2021.

## ***Biografia dos autores***

### **Marcelo Giroto Rebelato**

Docente no Curso de Administração da UNESP Jaboticabal e pesquisador nas áreas de Gerenciamento Ambiental, Gerenciamento da Qualidade e Gerenciamento de Operações.

**Andréia Marize Rodrigues**

Docente no Curso de Administração da UNESP Jaboticabal e pesquisadora nas áreas de Gestão Ambiental, Medição de Desempenho Ambiental, Produção Mais Limpa e Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde.

**Namíbia Esteves Scarpin**

Administradora formada pela UNESP FCAV de Jaboticabal. Atua na área regulatória em empresa de defensivos e fertilizantes.



Artigo recebido em: 22/07/2024 e aceito para publicação em: 21/08/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i1.5351>