

Universidade Estadual Paulista

Leandro Divino Miranda de Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE UM
ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO
DESEMPENHO AMBIENTAL DO
PROCESSO PRODUTIVO DA
INDÚSTRIA CERÂMICA

Jaboticabal

2020

LEANDRO DIVINO MIRANDA DE
OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE
PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO
DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como
exigência parcial para obtenção do grau de
Mestre em Administração.

Área de Concentração: Gestão de Organizações
Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Girotto Rebelato

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Maria Saran

Jaboticabal

2020

O48d

Oliveira, Leandro Divino Miranda de

Desenvolvimento de um índice para avaliação do desempenho ambiental do processo produtivo da indústria cerâmica / Leandro Divino Miranda de Oliveira. -- Jaboticabal, 2020

88 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Marcelo Giroto Rebelato

Coorientadora: Luciana Maria Saran

1. Cerâmica. 2. Avaliação de desempenho ambiental. 3. Resíduo. 4. Receita. 5. Processos ambientais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Leandro Divino Miranda de Oliveira



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

AUTOR: LEANDRO DIVINO MIRANDA DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: MARCELO GIROTTI REBELATO

COORIENTADORA: LUCIANA MARIA SARAN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ADMINISTRAÇÃO, área: Gestão de Organizações Agroindustriais pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO GIROTTI REBELATO
Departamento de Economia, Administração e Educação / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal
(VIDEOCONFERÊNCIA)

Prof. Dr. FÁBIO FAVARETTO
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão / UNIFEI - Itajubá/MG
(VIDEOCONFERÊNCIA)

Jaboticabal, 18 de setembro de 2020

Dedicatória

A Deus, a Nossa Senhora Aparecida e aos Meus Pais.

Agradecimentos

A Deus e Nossa Senhora pela realização desse sonho de me tornar Mestre em Administração;

Aos meus pais Maria Aparecida Miranda e Gilmar Divino de Oliveira pelo apoio incondicional que me deram desde o início dessa jornada; Vocês são os melhores pais do mundo. A vocês todo o amor;

Aos meus avós Geraldo Afonso Miranda e Maria Eleusa Ferreira pelo apoio e pela força que me deram nesses dois anos;

Ao meu orientador Dr. Marcelo Girotto Rebelato que me auxiliou e me ajudou tanto nessa etapa de minha vida. Agradeço imensamente a todo o apoio que me deu em minha dissertação. Um orientador sempre presente, com paciência e disposto a ajudar;

A minha coorientadora Dra. Luciana Maria Saran pela ajuda na parte da química e pelos seus ensinamentos nessa etapa; Foi uma grande amiga nessa jornada, sempre atenciosa e presente em todas as minhas dificuldades;

Ao Engenheiro Mecânico Luiz Fernando Saran pela sua colaboração nos cálculos das quantidades de gases emitidas pela empresa do teste; Essa colaboração foi de suma importância para a realização de pesquisa;

Ao Wagner Messias de Almeida Júnior pela ajuda nos dados do estudo e informações referentes à empresa e todo o auxílio necessário durante todo o período;

Ao empresário Mário Jacob Yunes Júnior, diretor da empresa do teste por permitir a minha pesquisa em sua empresa;

Ao Sérgio Mendes Dutra pela amizade e apoio que me deu no período do mestrado, e pela parceria nas viagens para Jaboticabal durante todo esse tempo;

Aos meus amigos de Barretos Guilherme Pelegrini Brianez, Joyce Costa Henrique e Rafael Matos do Carmo que me acolheram de forma tão carinhosa, e me ajudaram dando carona no início do mestrado. Para sempre vocês estarão em meu coração, e que nossa amizade permaneça para sempre;

A minha amiga Kelly Patrícia Martins pela sua amizade e companheirismo nessa jornada;

Aos professores que tanto colaboraram com seus ensinamentos nas aulas ministradas;

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse grande sonho. A todos vocês, meu muito obrigado.

Epígrafe

“Porque eu, o SENHOR, teu Deus, te tomo pela tua mão direita e te digo: não temas,
que eu te ajudo. Isaías 41:10-14

DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Resumo

Objetivo: o objetivo geral desta dissertação foi desenvolver um índice para avaliação do desempenho ambiental aplicável ao processo produtivo da indústria cerâmica. Os objetivos específicos foram: identificar e analisar os resíduos e subprodutos gerados; identificar um mecanismo de avaliação lógica e racional que leve em conta o potencial de impacto ambiental relativo, a quantidade relativa de cada resíduo e subproduto gerado, a cobertura geográfica relativa e a avaliação categórica de adequação final de cada resíduo e subproduto originado pela empresa e testar e aplicar o índice proposto.

Metodologia/ Procedimento de pesquisa: Os procedimentos metodológicos para o índice criado foram divididos em seis etapas: mapeamento das etapas produtivas do processo; identificação e estudo dos resíduos gerados; cálculos dos potenciais de impacto ambiental de cada resíduo para cada uma das categorias de impacto utilizando o método RECIPE; normalização dos potenciais de cada resíduo; ponderação relativa entre os potenciais calculados através do IAHP, (Análise Hierárquica de Processos Melhorada), e desenvolvimento do índice de avaliação de processos ambientais.

Resultados e discussões: O índice foi testado em uma empresa cerâmica do estado de Minas Gerais, Brasil. Obtendo como resultado do teste realizado, os resíduos e subprodutos que apresentaram maior ponderação relativa foram: gases oriundos da queima de cavacos, (30,850%), cinzas oriundas da queima dos cavacos de eucalipto, (30,483%), tambor de aço, (28,937%), totalizando 90,27%. O tambor de aço é o resíduo com a maior participação relativa na formação do índice, (66,69%). O Desenvolvimento do índice de avaliação de processos ambientais, (DIAPA) final calculado foi de 28,732% para a empresa do teste. Isto significa que 28,732% da massa ponderada de resíduos/subprodutos tem destinação ambientalmente correta. Esse índice é considerado baixo, e isto se deve principalmente ao resíduo gases oriundos da queima de cavacos e o subproduto cinzas oriundas da queima de cavaco de eucalipto que são destinados inadequadamente, contribuindo negativamente no índice.

Implicações gerenciais: O método utilizado pode ser aplicado para medir o impacto ambiental gerado por qualquer indústria cerâmica. Além disso, o resultado da pesquisa será apresentado ao responsável pela empresa onde foi realizado o teste, onde serão apresentados as mesmas propostas de melhorias em relação aos resíduos e subprodutos que são destinados incorretamente no meio ambiente. Isso fará com que de fato uma avaliação de desempenho ambiental seja realizada, onde problemas poderão ser resolvidos mediante aos resultados encontrados na dissertação.

Conclusões e limitações da pesquisa: Esse método possibilitará ao setor cerâmico levar em consideração que quanto mais as empresas agregar esforços na gestão ambiental, maior será a sua eficiência da adequação ambiental nas destinações dadas aos resíduos e subprodutos gerados nos seus processos de produção. Em relação às limitações foi possível observar na literatura que existem poucos estudos atuais nessa temática, bem como metodologias de avaliação do desempenho ambiental de empresas por meio de indicadores de desempenho ambiental. Além disso, existe uma informalidade das indústrias em relação aos dados de seu processo produtivo e dos seus resíduos e subprodutos, principalmente na empresa do teste.

Originalidade: A originalidade do trabalho está no índice desenvolvido, que leva em consideração: o potencial de impacto ambiental relativo, a quantidade relativa de cada resíduo e subproduto gerado, a cobertura geográfica relativa e a avaliação categórica de adequação final de cada resíduo e subproduto praticado pela empresa.

Palavras-chave: Cerâmica, Avaliação de desempenho ambiental; Resíduo, RECIPE, Processos ambientais.

DEVELOPMENT OF AN INDEX TO EVALUATE THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE PRODUCTION PROCESS OF THE CERAMIC INDUSTRY

Abstract

Objective: the general objective of this dissertation was to develop an index for evaluating the environmental performance applicable to the production process of the ceramic industry. The specific objectives were: to identify and analyze the residues and by-products generated; to identify a logical and rational evaluation mechanism that takes into account the potential for relative environmental impact, the relative amount of each residue and by-product generated, the relative geographic coverage and the categorical evaluation of the final suitability of each residue and by-product originated by the company and to test and apply the proposed index.

Methodology / Research procedure: The methodological procedures for the index created were divided into six stages: mapping of the productive stages of the process; identification and study of the waste generated; calculations of the environmental impact potential of each waste for each impact category using the RECIPE method; normalization of the potentials of each waste; relative weighting among the potentials calculated through IAHP, (Improved Hierarchical Process Analysis), and development of the environmental process evaluation index.

Results and discussions: The index was tested in a ceramic company in the state of Minas Gerais, Brazil. As a result of the test, the residues and by-products that presented the highest relative weighting were: gases from the burning of chips, (30.850%), ash from the burning of eucalyptus chips, (30.483%), steel drum, (28.937%), totaling 90.27%. The steel drum is the residue with the highest relative participation in the index formation, (66.69%). The development of the final calculated environmental process evaluation index (DIAPA) was 28.732% for the test company. This means that 28.732% of the weighted mass of waste / by-products has environmentally correct destination. This index is considered low, and this is mainly due to the residue gases from the burning of chips and the by-product ashes from the burning of eucalyptus chips that are improperly destined, contributing negatively to the index.

Management implications: The method used can be applied to measure the environmental impact generated by any ceramic industry. Furthermore, the result of the research will be presented to the person in charge of the company where the test was carried out, where proposals for improvements in relation to waste and by-products that are improperly disposed of in the environment will be presented to the same person. This will in fact make an evaluation of environmental performance, where problems can be solved through the results found in the dissertation.

Conclusions and limitations of the research: This method will enable the ceramic sector to take into account that the more companies aggregate efforts in environmental management, the greater will be their efficiency of environmental suitability in the disposal of waste and by-products generated in their production processes. Regarding the limitations, it was possible to observe in the literature that there are few current studies on this subject, as well as methodologies for evaluating the environmental performance of companies through environmental performance indicators. In addition, there is an informality of the industries in relation to the data of their production process and of their waste and by-products, mainly in the test company.

Originality: The originality of the work is in the index developed, which takes into account: the potential for relative environmental impact, the relative amount of each waste and by-product generated, the relative geographic coverage and the categorical evaluation of the final suitability of each waste and by-product practiced by the company.

Keywords: Ceramics, Environmental performance evaluation; Waste, RECIPE, Environmental processes.

Lista de Abreviaturas

ABC – Associação Brasileira de Cerâmica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Análise de Ciclo de Vida

ADA – Avaliação de Desempenho Ambiental

AHP – Método de Hierarquia Analítica

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica

BSC – Balanced Scorecard

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

DIAPA – Desenvolvimento do índice de avaliação de processos ambientais

IDA – Indicadores de Desempenho Ambiental

IAHP - Improved Analytic Hierarchy Process

MPE - Micro e Pequenas Empresas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SINDICER – Sindicato da Indústria da Cerâmica para Construção e Olaria

Lista de Figuras

Figura 1 – Dados do Setor de Cerâmica vermelha no Brasil

Figura 2 – Fluxograma simplificado da produção industrial de cerâmica vermelha

Figura 3 – Armazenamento da argila na indústria

Figura 4 – Material sendo colocado no caixão alimentador

Figura 5 – Martelo picador

Figura 6 – Desintegrador de argila

Figura 7 - Primeiro laminador

Figura 8 – Misturador

Figura 9 – Segundo laminador

Figura 10 – Maromba

Figura 11 – Secagem dos tijolos do pátio interno da indústria

Figura 12- Massa de argila recebendo o desmoldante

Figura 13 – Corte dos blocos com cortadores automáticos

Figura 14- Máquina de prensagem

Figura 15 – Vagonetas com as telhas

Figura 16 – Secador de telhas

Figura 17 – Forno de queima das telhas e tijolos

Figura 18 – Telhas e tijolos no pátio externo

Figura 19 – Telhas com resina e pigmento

Figura 20 – Restos de cerâmica (cacos)

Figura 21 – Paletização

Figura 22 - Definição dos limites do sistema

Figura 23 - Ponderação dos impactos entre resíduos e subprodutos

Figura 24 – Abrangência global e Abrangência Local

Lista de quadros

Quadro 1 – Origem e composição

Quadro 2 - Quantidade anual e destinação

Lista de tabelas

Tabela 1 – Dados dos principais produtos do subsegmento de cerâmica vermelha

Tabela 2 – Cálculos dos potenciais ambientais para cada categoria

Tabela 3 – Fator de normalização utilizados

Tabela 4 – Potenciais normalizados

Tabela 5 – Peso relativo dos potenciais ambientais para cada resíduo e subproduto

Tabela 6 – Resultados de $V(a)$, i , A_i , K_i , DIAPA, e percentual de participação no DIAPA geral para a empresa do teste

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Produção de tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica vermelha para construção, exceto refratários (Mil unidades)

Gráfico 2 – Telhas de cerâmica vermelha (Mil unidades)

Gráfico 3 – Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica vermelha.

Gráfico 4 – Distribuição dos tipos de produtos por região

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Problema de Pesquisa	19
1.2 Objetivo geral	20
1.3 Objetivos específicos.....	20
1.4 Justificativa.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 Indústria Cerâmica	23
2.2 Cerâmica vermelha no Brasil.....	24
2.2.1.Processo Produtivo de Telhas e Tijolos	28
2.3 Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA)	40
2.4 Métodos e Ferramentas para a Avaliação do Desempenho Ambiental.....	43
2.5 Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA)	45
2.5.1.EDIP 97	47
2.5.2.ECO-INDICATOR 99.....	48
2.5.3.EPS 2000.....	48
2.5.4.CML 2002	48
2.5.5.IMPACT 2002+	49
2.5.6.MEEuP	49
2.5.7.RECIPE	49
2.5.8.EDIP 2003.....	50
2.5.9.LUCAS.....	50
2.5.10.TRACI.....	50
2.5.11.LIME	51
2.5.12.USETOX	51
2.5.13.IMPACT WORDL+	51
2.5.14.Conceituação das principais categorias de impacto dos métodos IDA	52
3. METODOLOGIA.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1 Contexto investigado.....	62
4.2 Dados dos resíduos/subprodutos da indústria.....	62
4.3 Cálculo dos potenciais de impacto.....	63
4.4 Normalização.....	66

4.5 Ponderação.....	68
4.6 Cálculo do índice para Avaliação do Desempenho Ambiental da indústria cerâmica..	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
5.1 Limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.....	75
5.2 Implicações gerenciais.....	76
REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO

Quando se usa matéria-prima e insumos que são extraídos do meio ambiente na atividade industrial, há uma tendência de impacto e agressão à natureza, é o caso do setor cerâmico que possui como matéria prima principal a argila, e como insumo energético a lenha. Há impactos no meio físico, biótico e antrópico, devido a mineração e reflorestamento, e isso muda a vida das pessoas que desempenham as atividades na fabricação de produtos cerâmicos ou que moram perto de locais onde são explorados a matéria-prima, vale ressaltar que resíduos também são gerados no decorrer do processo produtivo. (DIAS et al., 1999; SÁNCHEZ, 2008; LEITE E GONÇALVES-FUJACO, 2013).

De acordo com Barbieri (2016), os resíduos são gerados no decorrer da produção e consumo, onde os mesmos exigem recursos naturais que serão extraídos do meio ambiente. Esses resíduos quando não são reutilizados ou redirecionados corretamente no processo produtivo, são absorvidos pelo ar, pela água e ou pelo solo, podendo provocar impactos negativos ao meio ambiente.

As indústrias cerâmicas em seu processo produtivo geram altas quantidades de resíduos, e a sua destinação sistematicamente são destinadas aos aterros sanitários (EL-GAMAL, 2017). De acordo com o presidente do Sindicer (Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha), no ano de 2016, cerca de 30% das indústrias cerâmicas do Brasil apresentaram reduções em suas perdas no processo produtivo entre 5 a 10%, e as demais superaram os 15%. A quantidade de resíduos que são gerados variam de acordo com o método de produção, podendo ser peças com defeitos, ruptura na queima ou no transporte (SALES et al., 2014).

Vale ressaltar que os avanços das tecnologias nos processos industriais em conjunto com o aumento da consumação de recursos naturais e a propagação de substâncias tóxicas e de alta periculosidade, vem trazendo problemas para o meio ambiente e para a saúde humana (SONG et al., 2016; ZUI et al., 2017).

Diante desse cenário torna-se fundamental a introdução de metas de produção que envolvam a qualidade ambiental, tornado inevitável a inserção de ferramentas para avaliar os aspectos ambientais do setor industrial cerâmico. No cenário atual, com a evolução tecnológica, aliada ao aperfeiçoamento dos processos industriais, os instrumentos

introduziram novos mecanismos que coletam informações detalhadas sobre os aspectos ambientais como: Métodos de Avaliação Multicritério e Indicadores de desempenho ambiental (HERMANN et al., 2007).

A avaliação de desempenho ambiental deve atender a natureza dos processos adotados, visto que, cada empresa gera e descarta grande quantidade de produtos químicos, gases, materiais em partículas, metais, compostos, solventes orgânicos, entre outros (REBELATO et al., 2013). Os indicadores de desempenho ambiental devem analisar as peculiaridades dos produtos produzidos e as características dos processos utilizados.

Frente a todas essas questões, a avaliação de desempenho ambiental tem como finalidade ser um facilitador na tomada de decisão sobre desempenho ambiental, por meio de indicadores, coleta de dados, análise de dados, avaliação de informações sobre desempenho ambiental, revisões e aperfeiçoamentos dos processos (ABNT, 2015).

A Avaliação de desempenho ambiental (ADA), pode ser essencial na assessoria de uma empresa nas análises de sua gestão ambiental, corroborando na avaliação dos aspectos ambientais, definindo assuntos que possam ser tratados com relevância, sugerindo critérios e avaliando o desempenho ambiental da empresa de acordo com os critérios estabelecidos (HARIZ; BAHMED, 2013).

1.1 Problema de Pesquisa

A direção para o desenvolvimento sustentável como definido na conferência internacional do Rio em 1992, posteriormente incrementado em Joanesburgo no ano de 2002 apresentam maiores esforços para a política do setor industrial, idealizando um plano de ação abrangente para construir uma parceria global para o desenvolvimento sustentável, com a finalidade de melhorar a vida humana, preservar e proteger o meio ambiente.

Na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20), realizada no Rio de Janeiro, Brasil, em junho de 2012, os países membros adotaram o documento final, "O futuro que queremos", no qual decidiram, entre outros, lançar um processo para desenvolverem um conjunto de metas de desenvolvimento sustentável para aproveitar os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e estabelecer o Fórum Político de Alto Nível das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável. O resultado da Rio +20 também compreendia outras medidas para implementar o desenvolvimento sustentável, incluindo mandatos para futuros programas de trabalho.

Na conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (COP21/CMP11), realizada em 2015, o Brasil considera de suma importância os esforços globais para combater as mudanças climáticas e seus efeitos. A implementação de políticas e medidas sustentáveis para se adaptar às mudanças climáticas contribuem para a construção de resiliência de populações, ecossistemas, sistemas de infraestrutura e produção, reduzindo a vulnerabilidade através da prestação de serviços ecossistêmicos.

Algumas medidas que o Brasil se comprometeu na COP21/CMP11 é de promover e desenvolver novos padrões de tecnologia limpa, melhorar as medidas de eficiência energética e as emissões de carbono do setor industrial do país; melhorar os sistemas sustentáveis de manejo florestal nativo mediante sistemas de georreferenciamento e rastreamento objetivando coibir práticas ilegais e insustentáveis, propiciando ainda expandir o uso de fontes de energia renováveis, entre outros.

Contudo, as organizações precisam investir na criação de métodos e métricas para alcançar o desenvolvimento sustentável, temas palestrados e abundantemente desejado nas conferências realizadas no decorrer dos anos em diversos países. E para isso, são necessárias ferramentas para avaliar os aspectos ambientais de um negócio, seja ele qual for, uma única empresa, um setor ou a economia nacional ou internacional. (HERMANN et al., 2007).

A Avaliação Desempenho Ambiental - ADA, possibilita que empresas sejam capazes de comparar seus desempenhos ambientais que obtiveram no passado e que possuem no presente, comparando com seus objetivos e suas metas ambientais por meio de indicadores chave de desempenho, com fundamento em dados corretos e averiguáveis. Com isso, as organizações medem, avaliam e comunicam seus desempenhos aos seus *stakeholders* (ABNT, 2015).

Diante disto, a dissertação pretende responder a seguinte problemática: como elaborar um índice para avaliação de desempenho ambiental para indústria cerâmica?

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um índice para avaliação do desempenho ambiental aplicável ao processo produtivo da indústria cerâmica.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da presente pesquisa são:

- a) Identificar e analisar os resíduos e subprodutos gerados;

b) Identificar um mecanismo de avaliação lógica e racional que leve em conta o potencial de impacto ambiental relativo, a quantidade relativa de cada resíduo e subproduto gerado, a cobertura geográfica relativa e a avaliação categórica de adequação final de cada resíduo e subproduto originado pela empresa.

c) Testar e aplicar o índice proposto.

1.4 Justificativa

Existe uma preocupação com a quantidade e destinação dos resíduos originados pelas indústrias cerâmicas, posto que, se forem destinados de forma incorreta no meio ambiente pode ocasionar impactos ambientais significativos. Faz-se necessário a criação de índices para medir a avaliação de desempenho ambiental no setor cerâmico, pois, existem poucos estudos relacionados ao desempenho ambiental nesse setor.

O trabalho é relevante, haja vista, que coopera com a sustentabilidade no setor cerâmico, desenvolvendo um indicador eficaz para avaliação do desempenho ambiental. Medir e avaliar o desempenho ambiental pode levar a ações eficazes à redução do impacto ambiental das operações e melhorar a qualidade dos processos e impactos ambientais do setor da indústria cerâmica. Além disso, há uma necessidade mundial reconhecida por indivíduos, organizações e sociedades para encontrar modelos, métricas e ferramentas para medir e gerenciar o desempenho ambiental das empresas (ESCRIG-OLMEDO et al., 2017).

A utilização de indicadores de avaliação de desempenho ambiental são importantes nos quesitos do cumprimento da legislação ambiental e de estratégias organizacionais determinadas. Esses indicadores realizam a otimização de recursos para as dimensões dos problemas ambientais, bem como colaboram na busca de avanços para o desempenho ambiental e empresarial das organizações (HENRI e JOURNEAULT, 2008). Delai e Takahashi (2008), complementam que ao realizar a mensuração da sustentabilidade através de índices e indicadores em uma organização é possível inseri-la no processo de tomada de decisão em todos os níveis organizacionais.

A presente dissertação colabora para as tomadas de decisões do setor cerâmico com o uso da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA), no seu processo produtivo, através do índice que será criado nesse estudo. Através da aplicação da ADA será possível conhecer com mais propriedade cada etapa do processo produtivo de telhas e tijolos, com o propósito de indicar todos resíduos e subprodutos gerados no processo produtivo, mostrando seus impactos no meio ambiente, e também ao ser humano. Com esse índice

a empresa poderá gerir seus processos de forma eficaz, levando em consideração o alinhamento com as políticas ambientais e a responsabilidade social.

Além disso, o estudo pode proporcionar um debate no meio acadêmico sobre a temática de avaliação de desempenho ambiental, promovendo estudos futuros em outros setores industriais, levando em conta que existem poucos estudos atuais nessa temática.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Indústria Cerâmica

Os materiais cerâmicos são considerados os primeiros materiais utilizados pelo homem para a criação de objetos, utensílios e ferramentas. Conforme Oliveira (2015), esse nome “materiais cerâmicos” tem derivação da palavra grega Keramus, que quer dizer argila queimada ou barro queimado, isto é, material não metálico contraído após a queima em altas temperaturas.

O setor da indústria cerâmica é considerado o mais antigo da civilização, sendo também um dos setores mais importantes da economia global (SINDECER, 2015; CAPRA, 1996; CORREIA e FRAGA 2018), com participação estimada em 1% no Produto Interno Bruto (PIB), (CETESB, 2006), apresentando forte participação no mercado internacional com expansão da exportação. Junior et al. (2019), ressalta que os principais materiais cerâmicos empregados na construção civil são: tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, utensílios de uso doméstico e de adorno e tubos cerâmicos e argilas expandidas.

O autor ainda ressalta que o desenvolvimento da indústria de cerâmica no país remonta ao início do século 20, seguindo as transformações socioeconômicas sentidas pelo Brasil, com a consolidação do crescimento das cidades e o início do processo de industrialização.

Com o aumento do consumo de produtos cerâmicos, as olarias que até então operavam de forma familiar e artesanal, tiveram que se adequar, atualizando as técnicas de produção, com a compra de equipamentos e aperfeiçoamento dos processos vindos da Europa, mudança de localização de suas empresas para mais perto dos centros urbanos (JUNIOR et al., 2019).

O Brasil se estaca nesse setor no cenário mundial, sendo um dos maiores produtores de cerâmica do mundo. Atualmente é considerado o segundo maior produtor e consumidor, e o sétimo maior exportador no ranking mundial (CRASTA, 2012; BNDES, 2013). No Brasil, tijolos, blocos e telhas são os itens mais utilizados na construção civil (GRIGOLETTI; SATTTLER, 2001).

Na atualidade o setor de cerâmica oferece grande número de produtos e processos produtivos, observando-se a convivência de distintos tipos de estabelecimentos, com características diversas em relação a produtividade, qualidade e tecnologia aplicada

(ANFACER, 2012). O setor cerâmico tem por finalidade fornecer insumos principalmente para indústrias da construção de imóveis residenciais, comerciais ou governamentais, sendo, dessa forma, fornecedor de materiais para a indústria de construção civil (CBIC, 2011).

A indústria cerâmica, é um setor absolutamente conectado a construção civil, encontra-se em todo o território nacional, em pequenas e médias indústrias, e até mesmo em olarias. Por ser um produto de baixo valor agregado, e não haver praticabilidade no transporte a longa distância, geralmente essas empresas encontram-se próximas das jazidas de argila (JUNIOR et al., 2012) (ALVES, 2015). O setor cerâmico é um vultoso consumidor de matéria-prima mineral. Seus variados segmentos utilizam uma abundância de materiais *in natura*, isto é, a argila (SEBRAE, 2005).

A argila é uma matéria prima de forma natural, formada principalmente por minerais de granulometria fina, o qual, quando misturada a água, transforma-se em um material mais plástico e que endurece ao ser seco ou queimado (GUGGENHEIM et al. 2015). Porém, para que haja êxito na produção do material cerâmico, é necessário que a argila passe por alguns processos de fabricação, como por exemplo: moldagem, secagem, cozimento, entre outros (AMBROZEWICZ 2012). O Brasil possui admiráveis jazidas de minerais industriais (argila), para uso em cerâmicas, da qual, a produção é concentrada especialmente nas regiões sudeste e sul do país, onde estão situados os maiores polos cerâmicos do país (ANFACER, 2012; BNB 2010).

2.2. Cerâmica vermelha no Brasil

Levando em consideração que existem diversos subsegmentos de cerâmica e cada um possui suas particularidades, nesta parte do referencial será tratado especificamente do setor industrial de cerâmica vermelha, onde será demonstrado o comportamento do processo produtivo desse setor no Brasil.

A indústria de cerâmica vermelha é um setor extremamente desuniforme, com uma diversidade de indústrias por todo o país, a abundância de matérias-primas naturais e fontes de energia, constituindo-se num grande consumidor de energia térmica em seus processos produtivos.

De acordo com dados da ANICER (2019), o setor de cerâmica vermelha representa 90% das alvenarias e coberturas construídas no país, o setor possui atualmente 6.903 empresas de cerâmica vermelha. O faturamento desse setor gera anualmente um

montante de R\$ 18 bilhões, representando 4,8% da construção civil. Vale acentuar que esse setor é responsável por gerar 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos no Brasil (Figura 1).

Figura 1. Dados do Setor de Cerâmica vermelha no Brasil



Fonte: ANICER (2019)

Os três principais produtos do subsegmento da cerâmica vermelha consistem em blocos/tijolos, telhas e tubos. Conforme dados da ANICER (2015), observa-se que os blocos/tijolos representam mais da metade de todo o volume produzido no setor de cerâmica vermelha, posteriormente aparece a produção de telhas com 36% da produção, que possui uma boa representatividade e a produção de tubos que é considerada baixa, representando menos de 1%. (Tabela 1).

Tabela 1. Dados dos principais produtos do subsegmento de cerâmica vermelha

<i>PRODUTO</i>	<i>Nº APROXIMADO DE EMPRESAS</i>	<i>% DE PRODUÇÃO APROXIMADO POR ÁREA</i>
Blocos/Tijolos	4346	63%
Telhas	2547	36%
Tubos	10	0,1%

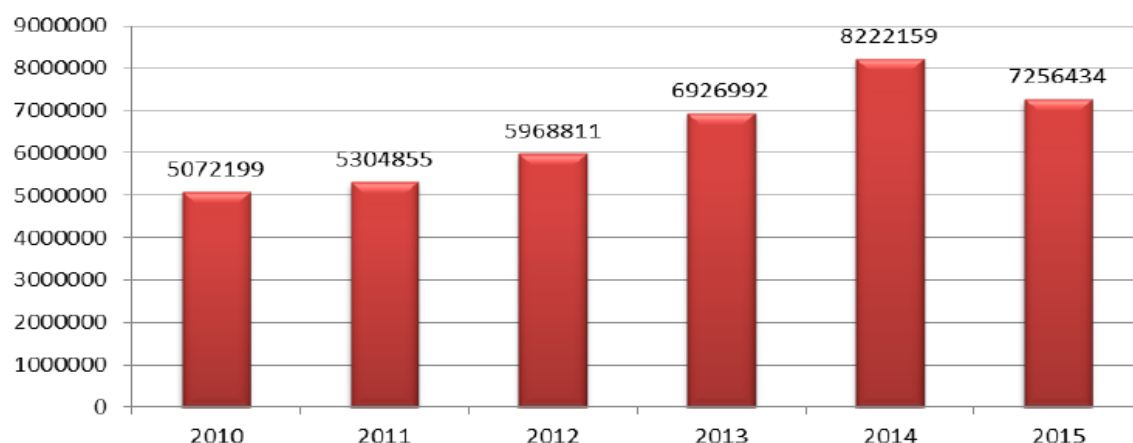
Fonte: ANICER (2015)

Conforme a pesquisa anual industrial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), Identificamos como se comporta a produção dos principais produtos, (blocos/tijolos, telhas e tubos), dentro do subsegmento de cerâmica vermelha entre o período de 2010 até 2015.

Nos produtos tijolos perfurados, tapa-vigas (tijolos de laje), e outros tipos de tijolos de cerâmica vermelha, exceto refratários, observa-se que o ano de 2014 foi o de

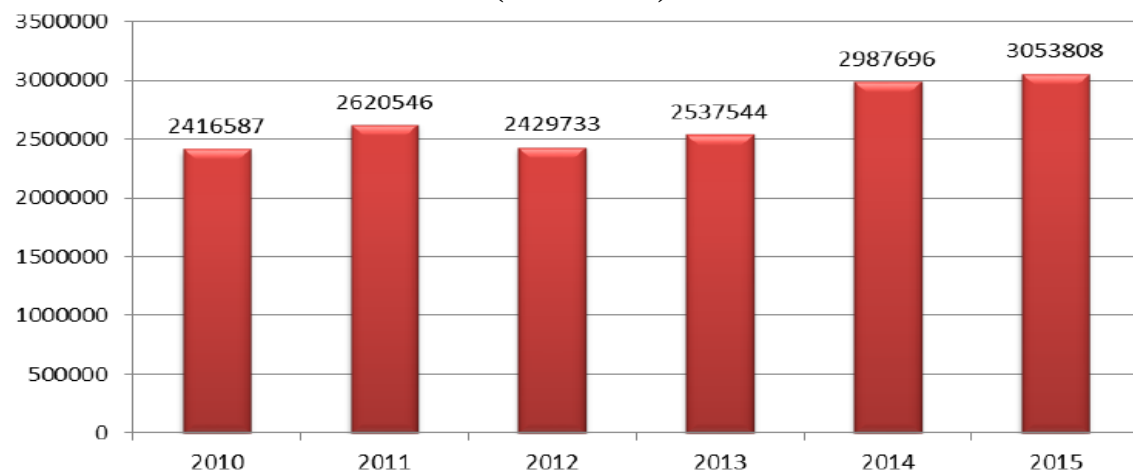
maior produção desse produto. Enquanto o ano de 2010, o de menor produção desse mesmo produto. (Gráfico 1). Já em relação as telhas de cerâmica vermelha observa-se o ano de 2015, com a maior produção de telhas e o ano de 2012, com a menor produção (Gráfico 2). Já os tubos, canos, calhas, e outros acessórios para canalização, de cerâmica vermelha teve seu ápice de produção em 2011, e a sua menor produção recentemente em 2015, (Gráfico 3).

Gráfico 1. Produção de tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica vermelha para construção, exceto refratários (Mil unidades)

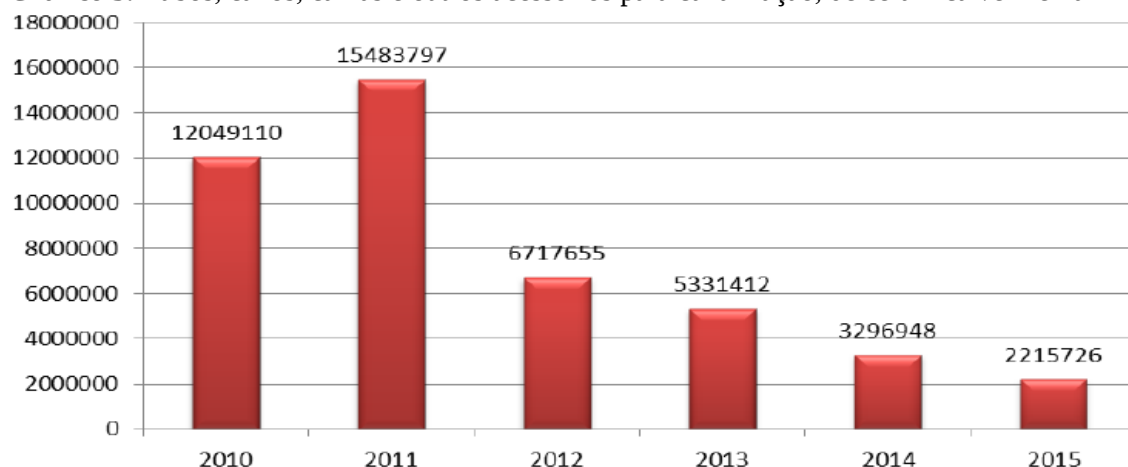


Fonte: IBGE (2017)

Gráfico 2. Telhas de cerâmica vermelha (Mil unidades)

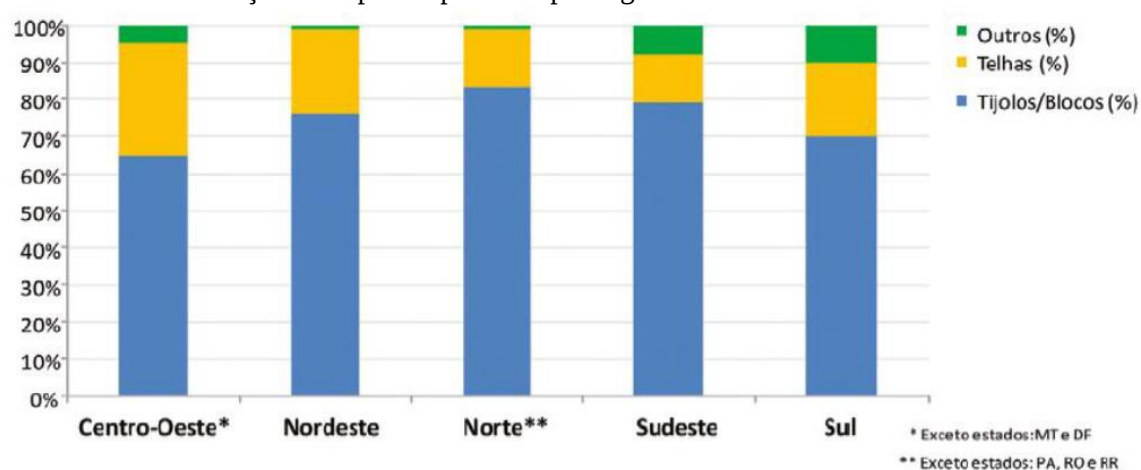


Fonte: IBGE (2017)

Gráfico 3. Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica vermelha

Fonte: IBGE (2017)

Sendo o setor cerâmico bem fragmentado por todo o Brasil, tem-se uma distribuição regional de produtos, (Gráfico 4). Destaca-se o produto tijolos/blocos, sendo o de maior distribuição nas cinco regiões (Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul). Já o produto telhas vem em segundo lugar em porcentagem de distribuição, seguido por outros tipos de produtos cerâmicos.

Gráfico 4. Distribuição dos tipos de produtos por região

Fonte: Estudo Técnico Setorial Da Cerâmica Vermelha (ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2017)

Apesar de todo esse avanço, o setor cerâmico ainda é considerado atrasado, no quesito de ser constituído sobretudo por empresas de pequeno e médio porte. Com isso, produzem em pequena escala e artesanalmente, porque são indústrias conservadoras no

que diz respeito a seus produtos, sistemas de produção e tecnologias (GRIGOLETTI E SATTTLER, 2001).

O Sebrae (2008), complementa dizendo que as indústrias de cerâmica no país são em sua maioria formada por indústrias de micro e médio portes, que ainda utilizam processos de produção tradicional, onde a tecnologia ainda é pouco explorada por indústrias do setor ceramista. Por outro lado, o setor cerâmico está em alta no país, e não importa se o comprador são as construtoras ou o próprio consumidor direto, todos os materiais cerâmicos são usados em sua maioria em construções e/ou reformas. Com isso, todo esse público (construtoras ou consumidor direto), podem ser considerados como mercado consumidor do setor ceramista (SILVA et al., 2016).

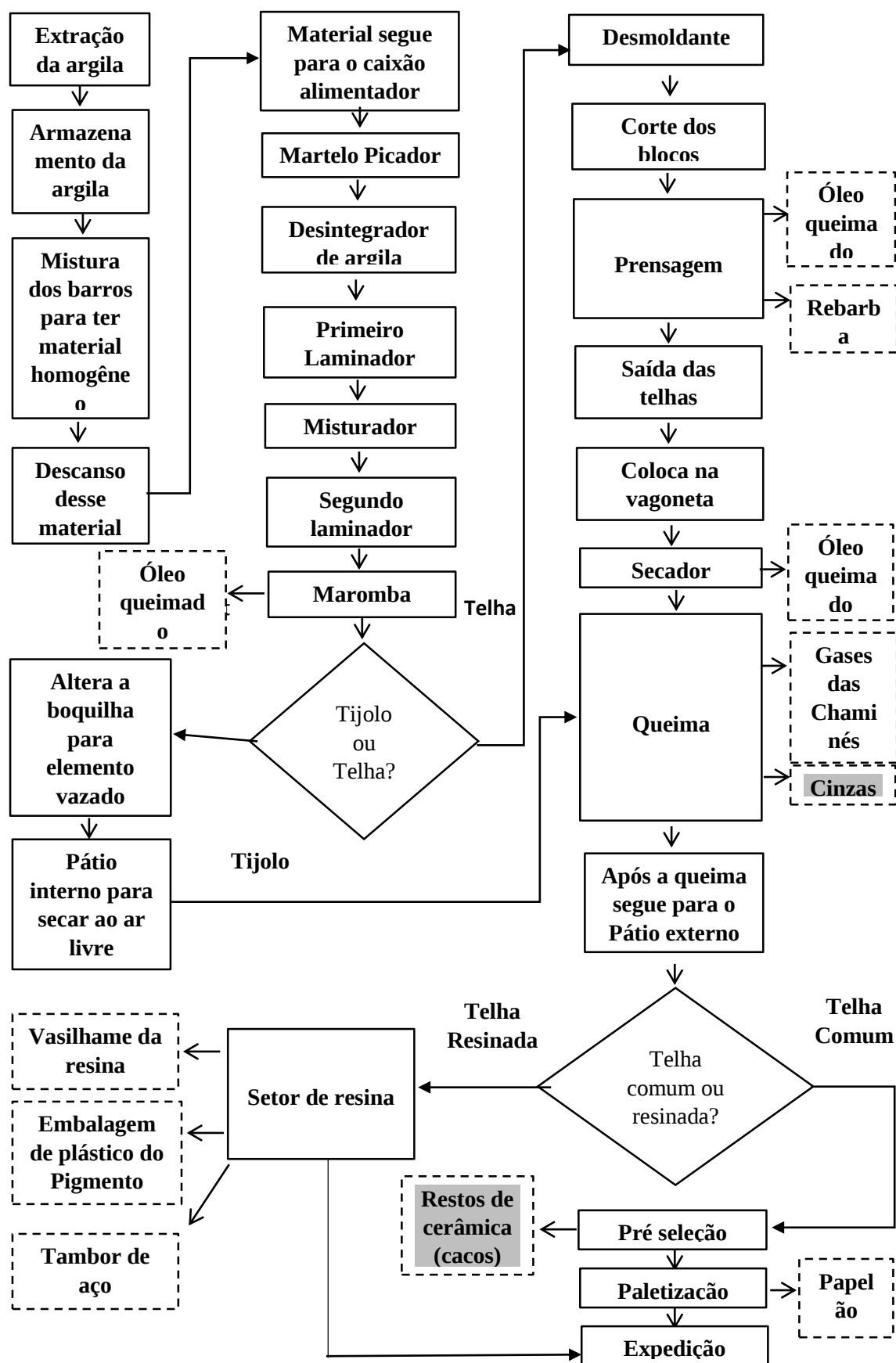
2.2.1. Processo Produtivo de Telhas e Tijolos

O setor ceramista utiliza em seu processo uma massa, conhecida como monocomponente, é composta essencialmente por argila. A formulação dessa massa é baseado na experiência do ceramista, onde o mesmo realiza uma mistura da argila que possui alta plasticidade, granulometria fina e argilominerais, conhecida como “gorda”, com uma argila menos plástica, rica em quartzo, conhecida como “magra.” Essa segunda argila, possui um redutor de plasticidade, permitindo uma drenagem correta nas telhas e tijolos nas etapas de secagem e queima (JUNIOR et al., 2019; GUGGENHEIM et al., 2015).

O processo de produção dos produtos cerâmicos, se divide em 19 etapas, (Figura 2). Na primeira etapa que consiste na extração da matéria prima, a argila é retirada de lugares chamados de jazidas, onde é encontrado a argila “magra” e “gorda”, sendo cada uma com características químicas diferentes, onde a “magra” possui pouca plasticidade e a “gorda” possui alta plasticidade. A mistura das duas no processo produtivo faz com que se tenha um produto de boa qualidade (COELHO et al. 2007).

Em relação a Figura (2) os retângulos grafados com linha contínua representam o processo produtivo. Os retângulos com linhas tracejadas são os resíduos gerados e os retângulos com linha tracejadas e preenchidos com cor cinza são os subprodutos.

Figura 2. Fluxograma simplificado da produção industrial de cerâmica vermelha



Fonte: Autor (2019)

Na segunda etapa, depois de transportada a argila, ocorre o armazenamento na indústria situada, em um espaço a céu aberto em forma de morros (Figura 3).

Figura 3. Armazenamento da argila na indústria



Fonte: Autor (2019)

Em seguida decorre a etapa 3, onde é feito a mistura do barro (amarelo e preto), com a utilização de um trator, para criar um material homogêneo ((SILVA, 2019). Esse material segue para o descanso. Na etapa 4, o material segue para o caixão alimentador de argila (Figura 4), que garante o abastecimento uniforme e contínuo da linha de produção de telhas e tijolos, controlando a quantidade de massa de argila homogeneizada a ser processada nas próximas etapas do processo.

Figura 4. Material sendo colocado no caixão alimentador



Fonte: Autor (2019)

Após isso, na etapa 5, o material segue do caixão alimentador para uma esteira que o leva para o martelo picador (Figura 5), onde vai dosando essa argila.

Figura 5. Martelo Picador



Fonte: Autor (2019)

Em seguida na etapa 6, a argila segue para o desintegrador (quebra torrão), (Figura 6), que é composto por moedores e lâminas, cujo objetivo é reduzir os torrões de argila em partículas menores (SILVA, 2019).

Figura 6. Desintegrador de argila



Fonte: Autor (2019)

Na etapa 7 seguinte, os torrões de argila seguem para o primeiro laminador (Figura 7), que tem a função de moer a argila, laminando e eliminando pedriscos. Nessa etapa o laminador é responsável também por distribuir a umidade argila.

Figura 7. Primeiro Laminador



Fonte: Autor (2019)

Em seguida decorre a etapa 8, onde a argila segue para o misturador (Figura 8), onde a mesma é dosada com água para ficar maleável e ter uma melhor distribuição de umidade (SILVA, 2019).

Figura 8. Misturador



Fonte: Autor (2019)

Em seguida na etapa 9, completando o trabalho do misturador, a argila segue para um segundo laminador (Figura 9), onde será mais vez moída e laminada, para assegurar a homogeneização da massa e a eliminação de pedriscos.

Figura 9. Segundo laminador



Fonte: Autor (2019)

Após isso, na etapa 10, o operador dosa a argila com água e a mesma segue para a maromba (Figura 10), que é a responsável por dar forma a massa de argila, consistindo em assegurar a retirada dos fragmentos sólidos da massa de argila e o vácuo, compactando o máximo possível, evitando que posteriormente haja trinca nas telhas e tijolos.

Após isso, a massa de argila é forçada por um pistão a passar em uma boquilha. Se for moldar telhas, a boquilha é a específica de telhas e seus modelos, e se for moldar tijolos a boquilha é de elemento vazado, que também possui seus modelos e formatos (SOUZA, 2003; OLIVEIRA, 2008).

Figura 10. Maromba

Fonte: Autor (2019)

Nessa etapa 10, na maromba geram-se resíduos de óleo queimado quando são realizadas as trocas de óleo na máquina em revisões e/ou manutenções. Na etapa 11, dos tijolos, geralmente seguem para secagem ao ar livre, regularmente isso ocorre devido a procura por tijolos nas indústrias de cerâmica não ser tão grande como a de telhas. Com isso não há necessidade de levá-los para o secador junto com as telhas, porque eles detêm de um prazo maior para secagem (Figura 11).

Figura 11. Secagem dos tijolos do pátio interno da indústria

Fonte: Autor (2019)

Após isso decorre a etapa 12, seguindo a fabricação de telhas, a massa de argila compactada recebe o desmoldante (Figura 12), utilizado para lubrificação da matéria prima para facilitar a moldagem e o corte da massa.

Figura 12. Massa de argila recebendo o desmoldante



Fonte: Autor (2019)

Em seguida decorre a etapa 13, onde são realizados os cortes dos blocos com cortadores automáticos (Figura 14).

Figura 13. Corte dos blocos com cortadores automáticos



Fonte: Autor (2019)

Na etapa 14, o material passa pela máquina de prensagem (Figura 14), onde a massa é colocada no molde, sendo comprimida e sujeita a uma forte pressão. Nessa etapa

geram-se dois resíduos: o óleo queimado da máquina, que consiste no descarte da substituição do óleo na revisão e/ou manutenção do equipamento e as rebarbas, (sobras da massa de argila), que são geradas na prensagem.

Figura 14. Máquina de prensagem



Fonte: Autor (2019)

Na etapa 15, a massa ainda úmida, é cortada no tamanho e modelo desejado através de uma boquilha. A partir disso acontece a saída das telhas em seus diversos formatos e modelos programados. O operador as coloca nas vagonetas, (carros metálicos), onde são organizadas em pilhas de telhas (Figura 15).

Figura 15. Vagonetas com as telhas



Fonte: Autor (2019)

Nesse momento as telhas são transportadas para a secador (Figura 16), onde ficam em média 26 horas. O secador atinge picos de até 105 graus. No secador também é gerado o resíduo de óleo queimado, que consiste no descarte da substituição do óleo na revisão e/ou manutenção do equipamento.

A etapa da secagem é um processo muito importante na produção, pois, nessa fase do processo produtivo ainda restam cerca de 5% a 35% de água na cerâmica. Os procedimentos de secagem podem ser feitos naturalmente ou artificialmente, podendo eles serem considerados como contínuo ou intermitente, a depender do modelo de forno usado, do mais simples ao mais contemporâneo e tecnológico (AMBROZEWICZ, 2012; BAUER, 2011).

Figura 16. Secador de telhas



Fonte: Autor (2019)

Após a secagem decorre a etapa 16, onde as telhas e os tijolos são levados para o forno (Figura 17), onde são expostas a altas temperaturas em média de 26 horas. Essa etapa é realizada em fornos. A base do forno é forrada com tijolos, e as telhas são colocadas em cima desses tijolos. Nessa etapa de queima, a peça cerâmica (tijolo e telha), tem a sua quantidade de poros diminuídas e contraídas.

A etapa da queima é o estágio do processo produtivo mais importante na produção, pois, é nesta fase que o material cerâmico sofre todas as reações e transformações físicas e químicas indispensáveis para dar ao produto os atributos requeridos (NORTON, 1973). No processo de queima (cozimento), toda a água é eliminada, ocasionando mudanças estruturais no produto cerâmico (AMBROZEWICZ, 2012). Diante disto, o aquecimento

e o resfriamento deve ser controlado e diferenciado para cada tipo de produto cerâmico, para que não haja trincas e/ou deformidades. Os resíduos gerados são os gases da queima dos cavacos de eucalipto. Nessa fase também são gerados os subprodutos “cinzas da queima”.

Figura 17. Forno de queima das telhas e tijolos



Fonte: Autor (2019)

Na próxima etapa 17, as telhas e tijolos seguem para o pátio externo (Figura 18), e lá poderão ir para a pré-seleção e paletização e/ou ir para o setor de resina e pigmentação. Vale ressaltar que as telhas e tijolos também podem ser vendidas a granel, e nesse caso não é necessário paletizar e já podem ser comercializadas no pátio externo da indústria.

Figura 18. Telhas e tijolos no pátio externo



Fonte: Autor (2019)

Caso haja encomendas, as telhas vão para setor de resina e pigmentação onde receberão uma camada impermeável sobre elas, protegendo-as de infiltrações, ganhando brilho e aumentando sua durabilidade (Figura 19). A tinta vem em tambores de aço, sendo os mesmos considerados resíduos após o uso da tinta. O pigmento e a resina vem em embalagens de plástico, sendo também consideradas resíduos após o uso.

Figura 19. Telhas com resina e pigmento



Fonte: Autor (2019)

Nas indústrias cerâmicas quando não forem encomendas as telhas resinadas e pigmentadas, as telhas seguem para a etapa 18, onde acontece a paletização e pré-seleção. Na pré-seleção é onde gera-se os subprodutos de restos de cerâmica (cacos), (Figura 20).

Figura 20. Restos de cerâmica (cacos)



Fonte: Autor (2019)

Já a paletização dessas telhas consiste em organizá-las e agrupá-las de forma otimizada (Figura 21). Esse processo é realizado quando há pedidos em grandes quantidades (BASTOS, 2003). Nessa etapa de paletização gera-se o resíduo de papelão.

Figura 21. Paletização



Fonte: Autor (2019)

Na etapa 19, acontece a expedição, que consiste na entrega das telhas e tijolos ao consumidor.

2.3 Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA)

A ADA é um assunto que vem sendo abordado na comunidade acadêmica e nas empresas desde décadas passadas. As primeiras referencias em relação a essa temática apareceram em 1969, onde o *National Enviromental Policy Act* (NEPA), possibilitou nos Estados Unidos o uso de processos sistêmicos de avaliação de desempenho ambiental (CAMPOS, 2001).

A inclusão da dimensão ambiental nas empresas deve ser conhecida como uma das maiores mudanças que vêm acontecendo nas indústrias e em todo mundo dos negócios no decorrer das últimas décadas. A importância e a complexidade da gestão ambiental e avaliação de desempenho ambiental podem ser observadas quanto o envolvimento de uma série de planejamentos estruturais, ajustes, sistemas e atividades de

organização, com a finalidade de determinar uma postura holística, relacionando a variável ambiental (JABBOUR; JABBOUR; SARKIS; GOVINDAN, 2014).

A ABNT NBR 14031:2015, ressalta que as informações fornecidas pela avaliação de desempenho ambiental permitem a melhoria contínua dos processos na gestão do meio ambiente nas organizações, colabora na identificação e avaliação dos seus aspectos ambientais; na implantação de metas e objetivos para melhorar o desempenho ambiental, na identificação de oportunidades e tendências na questão ambiental e no cumprimento das questões legais relacionadas aos aspectos ambientais das organizações.

Nesta perspectiva, a norma ainda menciona que a ADA pode colaborar na identificação de aspectos ambientais, bem como decidir quais aspectos serão considerados significativos para determinar os critérios pertinentes para o desempenho ambiental, e finalmente fazer a avaliação do desempenho ambiental conforme esses critérios (ABNT, 2015).

Hariz (2013), afirma que a ADA pode ajudar um setor ou uma empresa a distinguir aspectos ambientais, definir quais os aspectos serão tratados com prioridade, determinar critérios e fazer a avaliação do desempenho ambiental de acordo com os critérios, e além disso fazer um planejamento determinando metas, com foco na melhoria ambiental.

Contribuindo com essa ideia, o desempenho ambiental pode ser entendido como uma informação fornecida por um número de indicadores que permite a comparação entre si, ou a partir de uma pesquisa conceitual, as formalidades legais nas áreas e setores de uma organização, (SEARCY; KARAPETROVIC; MCCARTNEY, 2005).

O desempenho ambiental é estabelecido com os resultados obtidos a partir do controle dos aspectos ambientais de um setor ou de uma organização, apontados por meio de indicadores. Os indicadores podem ser relacionados com os objetivos e metas, com as políticas e normas ambientais, dentre outros requisitos (ANTONOV; SELLITO, 2011).

Os métodos e indicadores de ADA, são instrumentos que delineiam de forma complexa a elevada quantidade de dados ambientais de uma organização. Esses métodos são aplicados para a explicação de dados absolutos de material e energia despendida contrastados à outros fatores de forma a aumentar o valor dos dados quantitativos, certificando a comparação entre as informações e entre o histórico analisado, (JASCH, 2000; PEROTTO et al., 2008).

A ADA permite demonstrar os pontos positivos e negativos dos resultados alcançados com as práticas ambientais implantadas na empresa, por meio de comparação

com condições e requisitos preestabelecidos, bem como critérios para benchmarkings (COSTA et al., 2010; ANDRADE et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015).

A avaliação de desempenho ambiental, ADA, pode ser aplicada em qualquer tipo de setor ou empresa, independente do seu tamanho, da sua estrutura, de sua atividade econômica, ou de sua localidade, contudo, os indicadores de desempenho ambiental precisarão ser avaliados periodicamente, por meio de pressão dos *stakeholders* ou questões de competitividade empresarial, ou ainda, por via de determinação legal ou por questão da política ambiental da empresa (CUNHA, 2010).

Na ADA, é imprescindível o levantamento dos dados de entrada e saída dos insumos do processo de produção, sendo essa uma fase em que os resultados ou consequências negativas ao meio ambiente provocados por uma atividade, pelo ciclo de vida do produto são identificados e analisados, através de indicadores de desempenho (MORETTI, 2011).

Associado com essas questões apresentadas, a ADA, temática bastante utilizada pelas universidades e por organizações, buscam a implantação de programas voltados ao desenvolvimento de tecnologias e produtos ambientalmente sustentáveis, que possam atender a legislação e a preservação ambiental, no entanto, também, aproveitar as possibilidades de negócios conjuntamente à melhora da imagem organizacional perante o público.

A ADA é também considerada um processo que propõe assessorar as decisões gerenciais sobre o desempenho ambiental de uma organização através da seleção de indicadores, coleta e análise de dados, avaliação de informações em conformidade com critérios de desempenho ambiental, revisão, divulgação e aperfeiçoamento dos processos (DIAS-SARDINHA; REIJNDERS, 2001).

Dessa forma a ADA se torna imprescindível para as organizações, uma vez que oferece informações que permitem atribuir prioridades aos aspectos ambientais por meio da minimização dos impactos provocados durante as operações produtivas. Ao longo de anos e anos, foram realizados inúmeras pesquisas para o conhecimento e avaliação de práticas de gestão ambiental.

A procura por um conceito metodológico da ADA, estimulou-se pesquisas para procurar a melhor forma de combinar a ADA com o Método de Decisão Multicritérios. Os métodos de análise multicritérios avaliam as consequências ambientais gerais, levando em consideração vários critérios e seus pesos relativos, (DE LUCA et al., 2017).

2.4 Métodos e Ferramentas para a Avaliação do Desempenho Ambiental

Encontra-se na literatura especializada em desempenho ambiental vários métodos e ferramentas desenvolvidos com a finalidade de avaliar o desempenho ambiental de setores e das organizações. Dentre eles, está um dos pioneiros nessa área, a chamada metodologia energética (contábil), que foi sugerida por Odum, (1996). Essa proposta é quantitativa e voltada para as empresas que avaliam os impactos ambientais vindos das operações produtivas, através de índices relacionados ao uso de recurso renovável e não renovável do serviço ambiental local, serviço econômico e a rentabilidade econômica do sistema analisado. Para tal, os aspectos fundamentais desse método são: os fatores sociais, a energia, os recursos naturais e o desperdício, (ODUM, 1996).

Veleva e Ellenbecker (2001), apresentam um método de avaliação de desempenho ambiental em organizações com foco na produção e operação. Este método se baseia em seis aspectos de produção que compreendem vinte e dois indicadores de desempenho ambiental. Os aspectos definidos pelos autores são: energia e consumo de materiais, meio ambiente natural, justiça social e desenvolvimento comunitário, desempenho econômico, trabalhadores e produtos. A quantidade de indicadores por aspecto é variável, e todos os indicadores mostram métrica na sua medição, quando avaliados de forma integrada estabelecem um indicador final.

Ainda, em 2001, Li e Hui propuseram um método quantitativo para medir a avaliação de desempenho ambiental de processos produtivo baseado na análise do ciclo de vida do produto. Nesse caso, os aspectos fundamentais são: resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas. A mensuração nesse método se dá a partir de indicadores de impacto ao meio ambiente e à saúde humana.

O método qualitativo apresentado por Zeviani et al. (2013), é constituído por quarenta e cinco indicadores, e também por nove aspectos, são eles: organizacional, recursos humanos, instalações físicas, meio ambiente de entorno, desenvolvimento social, desenvolvimento econômico, desenvolvimento financeiro, recursos naturais, produto e mídia. Cada um dos quarenta e cinco indicadores possuem uma métrica própria e a aplicação da metodologia é por meio de um roteiro de caráter qualitativo.

Dias-Sardinha, Reijnders e Antunes (2002), usam como método para avaliação de desempenho ambiental o Balanced Scorecard (BSC), que traz uma direção estratégica, baseando-se em quatro perspectivas: financeira, clientes, processos internos e aprendizagem e crescimento. Os autores afirmam que o BSC tradicional permite apontar

o nível de desempenho social e o nível de desempenho ambiental que uma empresa deseja alcançar.

Al-Zwayalif (2017), usando-se desse mesmo método de BSC, propôs uma metodologia de mensuração de desempenho ambiental, observando as partes das estratégias organizacionais, com quatro indicadores, dezenove subitens com foco ambiental. As perspectivas são as seguintes: cliente, financeira, interna do processo e da aprendizagem e crescimento.

Já com o foco voltado para a administração industrial, Reis e Sellitto (2015), propuseram um modelo fundamentado na ISO-14000, no Ecoblock e no julgamento por escala categórica. Esse método é constituído por cinco constructos, são eles: emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, recursos naturais e energéticos, e por último o atendimento a legislação. Esses constructos precisam ser difundidos de acordo com o grau de relevância dado pelo grupo de foco. A seguir, os mesmos resultam em indicadores que são avaliados por esse grupo, numa escala de 0 a 100%.

No mesmo raciocínio, Dubey et al. (2017), apresenta um modelo que objetiva analisar o impacto da cultura organizacional nas ações da alta administração industrial em relação a reestruturação do processo de produção, objetivando um melhor desempenho ambiental. Nesse método são usados os seguintes aspectos: crenças da alta administração, participação da alta administração, fabricação reconfigurável, cultura organizacional e performance ambiental.

Em um formato orientado a Micro e Pequenas Empresas industriais Sellitto et al. (2010), retrataram uma metodologia qualitativa baseada na promoção de avaliação do desempenho ambiental por meio da análise de indicadores que respondem a grandes áreas chamadas construtos. Tem como objetivo determinar e concluir em um índice global do desempenho ambiental de uma atividade industrial. São compostos pelos seguintes constructos: emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, recursos naturais e gestão interna, atendimento a legislação e certificação. Esta metodologia demonstra as prioridades de ação da indústria e os constructos de mais impacto.

Vale destacar que o método de análise multicritérios é uma ferramenta de auxílio na avaliação de desempenho ambiental, conceituado por Linkov e Moberg (2012), e Doumpos e Zopounidis (2004), como um conjunto de ferramentas e abordagens que fornecem metodologia quantitativa que engloba os valores dos tomadores de decisão e das partes interessadas, além de informações técnicas, para selecionar a melhor solução ou a classificação de alternativas para um problema específico. A razão pela qual eles

facilitam a tomada de decisões como um todo, (SHIELDS et al., 2011), reside na capacidade de analisar essas diversas alternativas, com critérios conflitantes e afetados por vários *stakeholders*, (MANZARDO et al., 2014, MYLLYVIITA et al., 2012), de maneira clara, (JESWANI et al., 2010, HUANG et al., 2011, LINKOV e MOBERG, 2012, ROTH et al., 2009).

O método multicritério é considerado umas das ferramentas mais propagadas no apoio à tomada de decisão. Nos últimos anos essa metodologia demonstrou um crescimento considerável, em consequência da diversidade de estudos publicados nessa área, inclusive na área de gestão ambiental (SILVA; COSTA, 2011).

Dentro do método multicritério o Método de Hierarquia Analítica (AHP), tem uma atenção especial por ser um dos métodos mais utilizados, sendo aplicado em várias áreas do conhecimento incluindo critérios qualitativos e quantitativos em sua análise (COSTA; BELDERRAIN, 2009). Além do mais, é vista a aplicabilidade do AHP na circunstancia de análise de impacto ambiental de um sistema, observado sua versatilidade na perspectiva de se enquadrar naturalmente em qualquer problema, e também na sua competência de considerar múltiplos critérios na análise e ponderá-los com a finalidade de servir de auxílio para a toma de decisão (LUCENA, 1996).

2.5 Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA)

Os indicadores de desempenho ambiental são ferramentas que representam, de forma abrangente, uma vasta quantidade de dados ambientais. São colocados em prática para a definição de dados absolutos de material e energia despendida confrontados com outras variáveis de forma a aumentar o valor das informações dos dados quantitativos, garantindo dessa forma a comparação entre os dados e entre o histórico avaliado (JASCH, 2000; PEROTTO et al., 2008).

Os indicadores de desempenho ambiental (IDA), medem o desempenho ambiental atual ou passado de uma empresa e o comparam com as metas estabelecidas pela gerência da organização (JASCH, 2000). Os indicadores devem ser usados de forma dinâmica ao planejamento estratégico da organização, permitindo controlar alguns processos, priorizando os processos listados como críticos, sinalizando o desenvolvimento dos objetivos ou padrão mínimo de desempenho determinado, orientando o processo de tomada de decisão e a atividade da equipe, (CAMPOS E MELO, 2008; VENTURA et al., 2010; XAVIER e MATOS, 2013).

Para tal, estes indicadores podem ser organizados no plano macro, como também considerando itens específicos de áreas organizacionais como: finanças, comercial, etc. O tema inerente à questão ambiental também precisa ser considerado (BLASS et al., 2017).

A Agência Ambiental Européia (EEA), determina indicador de desempenho ambiental como um valor visto e emblemático de um fenómeno de estudo (EEA, 1999). Os indicadores quantificam as informações adicionando dados numéricos, que são essenciais para se ter um fenómeno confiável, de forma que possam ser usados para exemplificar e transmitir fatos complexos de maneira mais sucinta, (ROCA et al., 2005; HERVA et al., 2008).

Veleva e Ellenbecker (2001), determinam indicadores como variáveis constituídas que apresentam atributos e oferecem informações formidáveis sobre sistemas físicos, sociais ou econômicos, consentindo uma apreciação de relação causa-efeito. E como benefício do uso no esfera ambiental, além dos pontos já levantados, pode-se listar: o monitoramento dos processos; benchmark junto a própria empresa, concorrentes e mercado de modo geral; constatação de eficiência, novos projetos e eficácia das políticas empregadas (PUIG et al, 2014).

Um dos principais pontos fortes dos IDA é o possível uso para benchmarking no setor. Já um dos principais pontos negativos é que eles geralmente são coletados apenas para aspectos sobre os quais os dados estão prontamente disponíveis. Eles se diferenciam da análise do ciclo de vida na medida em que não visa a abrangência, mas à representação das principais características de uma empresa (JASCH et al.2000).

Os IDA servem como padrão para investigar se as emissões estão conforme os padrões estabelecidos pela legislação. Bem como, se esses e outros aspectos produtivos correspondem as normas ambientais internas das organizações instituídas por um plano de metas e objetivos. Os indicadores também são utilizados para os *stakeholders* acompanharem o desempenho organizacional, (GUIMARÃES et al., 2017).

Jasch (2000), complementa dizendo que os IDA são especialmente empregados para a definição de dados absolutos do sistema produtivo, aumentando o valor de dados quantitativos. Com isso, o IDA tem os seguintes objetivos: comparar o desempenho ambiental a longo prazo; destacar potencial de otimização; buscar melhorias; identificar oportunidade de mercado e potenciais de redução de custos; avaliar o desempenho ambiental entre as organizações; criar relatórios ambientais e dar feedback e suporte técnico para as normas de gestão ambiental.

Perotto et al. (2008), afirma que, os indicadores dão apoio as empresas na quantificação e na construção de relatórios de desempenho ambiental, de tal modo, é preciso unir um ou mais indicadores a cada aspecto ambiental. Os indicadores classificam e resumem os dados relacionados aos aspectos ambientais, passando para a empresa a real situação ambiental da mesma de acordo com o seu contexto, perante os seus objetivos e limites definidos.

Mendes; Bueno e Ometto (2015), ressaltam que os principais métodos de IDA foram criados em maior número na Europa. Alguns exemplos são: EDIP 97, Eco-indicator 99, EPS 2000, CML 2002, Impact 2002+, MEEuP, RECIPE e EDIP 2003. Os métodos denominados LUCAS e TRACI são originários da América do Norte, já o Método LIME tem origem no Japão. Os mais recentes são: USEtox e IMPACT World+, e foram criados por estudiosos do mundo todo, demonstrando uma tentativa de globalizar a aplicação dos mesmos.

A partir de uma análise de comparação entre esses principais métodos, foi possível identificar quatro categorias para perceber a diferença entre eles, permitindo dessa forma definir o método mais apropriado para a presente pesquisa. As categorias de comparação foram:

- Local de origem: país ou instituição do método;
- Nível de avaliação do impacto: midpoint que usa indicadores localizados ao longo do sistema produtivo (abrangendo processos físicos, químicos e biológicos), antes de chegar ao ponto final da categoria (ABNT, 2009); e endpoint que leva em consideração todo o sistema produtivo até o seu ponto final, isto é, refere-se a um dano específico relativo com uma área mais ampla de proteção, tal como a saúde humana (JOINT RESEARCH CENTRE, 2011; GUINÉE, 2002), combinado que considera as vantagens das abordagens midpoint e endpoint;
- As categorias de impacto ambiental;
- Amplitude de cada método, sendo global, continental ou nacional.

2.5.1 EDIP 97

O método EDIP 97, foi criado na Dinamarca por meio do programa Danish EDIP. O EDIP 97, compreende as seguintes categorias de impacto: aquecimento global,

depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico, toxicidade humana, ecotoxicidade, consumo de recursos e ambiente de trabalho, (HAUSCHILD; WENZEL, 1998). Tem finalidade de aplicação global para cada uma das categorias e nível de avaliação de impacto *midpoint* (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010).

2.5.2 ECO-INDICATOR 99

O Eco-indicator 99, consiste em um método *endpoint*, que busca facilitar a interpretação e ponderação dos resultados através do cálculo de pontuações únicas, denominadas eco indicadores. Esse método surgiu em substituição aos métodos EPS 2000 e Eco-indicator 95, sendo também responsável pela criação dos métodos LIME e Impact 2002 (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010). Esta metodologia Tem finalidade de aplicação global e compreende as categorias de impacto: depleção do ozônio, quantidade e duração de doenças e mudança climática. Sua amplitude para o continente europeu abrange substâncias carcinogênicas, inaláveis orgânicos e inorgânicos, radiação ionizante e ecotoxicidade. E para uso específico na Holanda a acidificação e eutrofização, e para a Suíça para o uso da terra, (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010; MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT, 2000).

2.5.3 EPS 2000

O método EPS 2000, foi criado na Suécia, na Universidade de Tecnologia Chalmers. É considerado um método de avaliação *endpoint* (STEEN, 1999). Suas categorias de impacto são: toxicidade humana, saúde humana, cancerígenos e não cancerígenos, mudanças climáticas, efeitos respiratórios, destruição da camada de ozônio, ruídos e radiação ionizante, (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010). Sua amplitude de aplicação é global.

2.5.4 CML 2002

O CML 2002, é considerado um manual e foi publicado na Holanda no ano de 2002, baseado nas normas ISO (GUINÉE, 2002). Ele é fundamentado em uma perspectiva *midpoint* e os seus modelos de caracterização foram selecionados através de

pesquisas em metodologias existentes em todo o mundo, (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010). As categorias de impacto consistem em: uso da terra, mudança climática, depleção de recursos abióticos, toxicidade humana, depleção de ozônio estratosférico e quaisquer categorias de impacto complementares a depender dos requisitos da pesquisa: ecotoxicidade, perda de função de suporte a vida e perda de biodiversidade (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010; GUINÉE, 2002). Sua amplitude de aplicação é global.

2.5.5 *IMPACT 2002+*

O IMPACT 2002+, é uma metodologia originária da Suíça e traz como desígnio implementar a avaliação combinada *midpoint/ endpoint* juntando todos os tipos de resultados do inventário por meio de catorze categorias *midpoint* e quatro *endpoint* (JOLLIET et al., 2003). Suas categorias de impacto *midpoint* contempla toxicidade humana, efeitos respiratórios, radiação ionizante, depleção de ozônio, formação de ozônio fotoquímico, aquecimento global, ruído. Já as categorias *endpoint* abrangem saúde humana, qualidade do ecossistema, mudança climática e recursos, (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010). Sua amplitude de aplicação é a Europa.

2.5.6 *MEEuP*

O MEEuP foi criado em nome da comissão europeia perante utilização de medidas contidas na Diretiva 2005/32/CE. Contempla as seguintes categorias de impacto: consumo total de energia bruta, consumo de eletricidade, consumo de água, resíduos sólidos perigosos e não perigosos, aquecimento global, destruição do ozônio, acidificação, emissão de metais pesados (ar), emissão de metais pesados (água), toxicidade humana e eutrofização aquática (KEMNA et al., 2005). Seu nível de avaliação de impacto é *midpoint* e sua amplitude de aplicação é a Europa.

2.5.7 *RECIPE*

O método RECIPE é uma continuidade dos métodos Eco-indicador 99 e CML 2000, que contem abordagens *midpoint* e *endpoint*. As categorias de impacto são: mudança climática; depleção de ozônio; acidificação da terra; eutrofização de água doce; eutrofização marinha; toxicidade humana; formação de ozônio fotoquímico; material

particulado; ecotoxicidade terrestre; ecotoxicidade da água doce; ecotoxicidade marinha; (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010; GOEDKOOOP et al., 2009). Sua amplitude de aplicação é global.

2.5.8 EDIP 2003

O EDIP 2003, incluiu a avaliação de exposição de categorias de impacto de emissões não globais e não substitui o EDIP 97 (WENZEL et al., 1997). É uma metodologia *midpoint* criado para apoiar análises ambientais durante a produção de produtos em indústrias e proporcionar elementos de caracterização espacialmente diferenciados. Abrange as seguintes categorias de impacto: aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, eutrofização terrestre, eutrofização aquática, formação de ozônio fotoquímico, toxicidade humana e ecotoxicidade e barulho. Sua amplitude de aplicação é a Europa.

2.5.9 LUCAS

O LUCAS foi desenvolvido em 2005 no Canadá, com o intuito de desenvolver um método voltado para aplicação no Canadá (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010). Primeiramente, foram escolhidos modelos de caracterização para dez categorias de impacto *midpoint*. São abordados modelos utilizados pelo EDIP 2003, Impact 2002+, LIME e TRACI, por abrangerem particularidades locais em seus fatores de caracterização até a criação do método LUCAS (TOFFOLETTO et al., 2007). Sua amplitude de aplicação é o Canadá.

2.5.10 TRACI

O TRACI é uma metodologia de avaliação do impacto criado nos Estados Unidos em 2003, (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2010). Consiste em um método *midpoint* que leva em consideração as condições ambientais dos Estados Unidos. Abrange as seguintes categorias de impacto: depleção de ozônio, aquecimento global, formação de fumaça, acidificação, eutrofização, saúde humana, (carcinogênicos e não carcinogênicos, poluentes), ecotoxicidade, esgotamento de combustíveis fósseis, uso da terra e uso da água (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010; BARE et al., 2003).

2.5.11 LIME

O método LIME foi desenvolvido no Japão. O escopo de aplicação é voltado para as condições naturais e humanas do próprio país, apresentando aplicação global para aquecimento global e destruição da camada de ozônio e específico para o Japão no restante categorias de impacto (JOINT RSESARCH CENTRE, 2011; ITSUBO et al., 2003). Sua amplitude de aplicação é o Japão.

As categorias de impacto *midpoint* contemplam aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade, formação de oxidantes fotoquímicos, poluição do ar no interior de ambientes fechados, geração de ruídos e geração de resíduos, consumo de minerais, consumo de energia, consumo de recursos bióticos. Já as categorias de impacto *endpoint* englobam malária, doenças infecciosas, fome e desastres naturais, catarata, câncer de pele, deficiência respiratória, biodiversidade terrestre e aquática, recursos minerais e recursos energéticos (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010).

2.5.12 USETOX

O USEtox é uma metodologia de avaliação *midpoint*, planejado para descrever destino, exposição e efeitos de produtos químicos, outorgando fatores de caracterização indicados para a toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce na avaliação de impacto do ciclo de vida, (JOINT RSESARCH CENTRE, 2010; HUIJBREGTS et al., 2010). Nesse método são estabelecidos fatores para impactos cancerígenos, não cancerígenos e impactos totais, (HUIJBREGTS et al., 2010). Sua amplitude de aplicação é global.

2.5.13 IMPACT WORDL+

O método IMPACT World+ foi criado como uma avaliação de impacto regionalizada abrangendo todos os países do mundo. Consiste numa atualização dos métodos Impact 2002+, EDIP e LUCAS. Suas categorias de impacto são: Toxicidade humana, oxidação fotoquímica, depleção da camada de ozônio, aquecimento global, ecotoxicidade, acidificação, eutrofização, uso da água, uso da terra e uso de recursos. Sua amplitude de aplicação é considerada global, (IMPACT WORLD+, 2012).

2.5.14 *Conceituação das principais categorias de impacto dos métodos IDA*

Abaixo segue a definição de dez das principais categorias de impacto dos métodos de IDA de acordo com o Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden (2007):

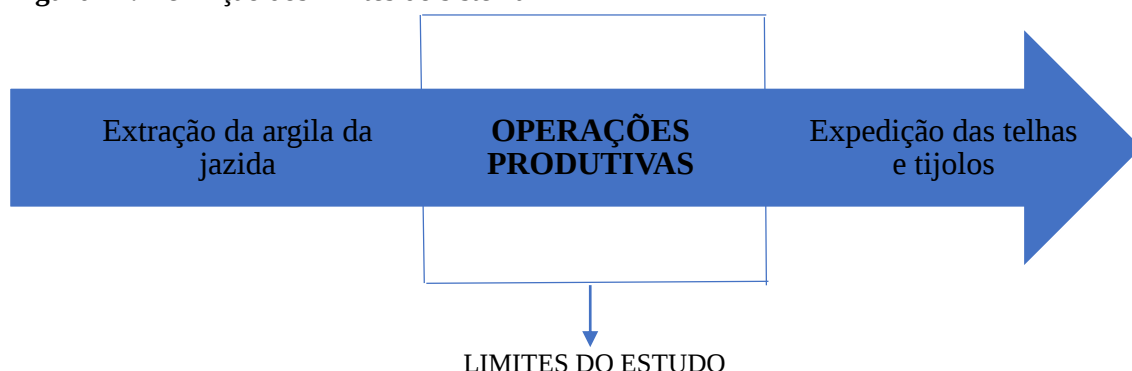
1. **Mudança climática:** As mudanças climáticas causam uma série de mecanismos ambientais que afetam tanto a saúde humana quanto os parâmetros da saúde do ecossistema. Modelos de mudança climática são geralmente desenvolvidos para avaliar o futuro do impacto ambiental de diferentes cenários, aquecimento global devido às emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.
2. **Acidificação da terra:** A acidificação terrestre é caracterizada por alterações nas propriedades químicas do solo após a deposição de nutrientes (nitrogênio e enxofre) em formas acidificantes.
3. **Eutrofização de água doce:** A eutrofização de água doce refere-se ao crescimento excessivo de plantas aquáticas ou proliferação de algas, devido aos altos níveis de nutrientes nos ecossistemas de água doce, como lagos, reservatórios e rios. A eutrofização de água doce pode impactar substancialmente os serviços ecossistêmicos que afetam a pesca, recreação, estética e saúde.
4. **Eutrofização marinha:** A eutrofização do ecossistema marinho é comumente definida como um aumento na produção primária do ecossistema ou, como afirma Nixon (1995), "um aumento na taxa de fornecimento de matéria orgânica a um ecossistema" Embora a eutrofização dos lagos possa ocorrer naturalmente, a eutrofização marinha é geralmente atribuída ao aumento da carga de nutrientes de fontes agrícolas e urbanas (KITSIOU E KARYDIS, 2011). A eutrofização geralmente tem efeitos ecológicos e econômicos adversos.
5. **Toxicidade humana:** Esta categoria refere-se aos efeitos de substâncias tóxicas no ambiente humano. Os riscos para a saúde de exposição no ambiente de trabalho não estão incluídos.

6. Formação de ozônio fotoquímico: Categoria de impacto responsável pela formação de ozônio no nível do solo da troposfera causada pela oxidação fotoquímica de compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono na presença de óxidos de nitrogênio e luz solar.
7. Material particulado: O material particulado é a soma de todas as partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, muitas das quais são perigosas. Essa mistura complexa inclui partículas orgânicas e inorgânicas, como poeira, pólen, fuligem, fumaça e gotículas de líquido. Essas partículas variam muito em tamanho, composição e origem.
8. Ecotoxicidade terrestre: Esta categoria refere-se aos impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas terrestres.
9. Ecotoxicidade da água doce: Este indicador de categoria refere-se ao impacto nos ecossistemas de água doce, como resultado das emissões de substâncias tóxicas no ar, na água e no solo.
10. Ecotoxicidade marinha: refere-se a impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas marinhos.

3. METODOLOGIA

Quanto ao escopo desta pesquisa duas ponderações devem ser levantadas. Em primeiro lugar, destacam-se as etapas industriais do processo produtivo de telhas e tijolos, excluindo-se as etapas de extração da argila das jazidas, e as etapas de expedição das telhas e tijolos (Figura 22). Com isso, para o cálculo do potencial de impacto deste setor de indústria cerâmica serão considerados os resíduos e os subprodutos gerados por suas operações produtivas.

Figura 22. Definição dos limites do sistema



Fonte: Autor (2020)

Em segundo lugar, é importante explicar que neste estudo serão considerados os resíduos e subprodutos gerados no processo produtivo de cerâmica. Da mesma forma que o resíduo, um subproduto também é considerado poluente do meio ambiente, considerando-se que o material poluidor é uma substância ou resíduo que não acomoda em um sistema natural em caso de introdução em uma capacidade acima da quantidade de compressão do sistema natural.

De acordo com as ponderações exteriorizadas e os objetivos da dissertação, o estudo pode ser classificado como sendo de natureza aplicada, com finalidade descritiva e com abordagem qualitativa e quantitativa. No estudo foram usadas técnicas como: entrevistas, observações, análise de documentos e elaboração de diagnóstico.

O método de pesquisa utilizado nessa dissertação, foi composto por seis etapas. São elas:

ETAPA 1 – Mapeamento das etapas produtivas do processo

Nesta etapa foram estudadas as operações unitárias de transformação da matéria-prima em telhas e tijolos, através de pesquisas bibliográficas. Por meio desses estudos foi possível caracterizar e mapear todo o processo produtivo descrevendo cada etapa do processo de produção de telhas e tijolos.

ETAPA 2 – Identificação e estudo dos resíduos gerados

Nesta fase, foram reunidos os dados dos resíduos/subprodutos produzidos em cada operação de fabricação, determinando a origem e sua composição (Quadro 1). Em relação a composição foi realizado um estudo bibliográfico junto a base de dados Scopus, Web of Science e Google Scholar.

Quadro 1. Origem e composição

Resíduo/ Subproduto	Origem	Composição
Restos de cerâmica (cacos)	Pré-seleção dos produtos	Dióxido de silício (SiO_2), 64,79% Óxido de alumínio (Al_2O_3), 16,26% Óxido de ferro(III) (Fe_2O_3), 7,22% Óxido de magnésio (MgO), 2,38% Óxido de potássio (K_2O), 2,68% Óxido de cálcio (CaO), 0,4% Dióxido de titânio (TiO_2), 0,91% Óxido de manganês(II) (MnO), 0,09%
Cinzas oriundas da queima dos cavacos de eucalipto	Queima dos cavacos de eucalipto	Magnésio (Mg), 2,9% Alumínio (Al), 8,1% Silício (Si), 2,1% Fósforo (P), 2,2% Enxofre (S), 1,7% Potássio (K), 6,7% Cloro (Cl), 2% Cálcio (Ca), 56%

		Titânio (Ti), 2,8% Manganês (Mn), 0,8% Ferro (Fe), 14,7%
Papelão	Paletização	Lignina (16,6%), celulose e hemiceluloses (20%); Carbono C, Hidrogênio H, Oxigênio O, Nitrogênio N, Enxofre S, Cinzas.
Óleo queimado/utilizado	Maromba, secador e prensagem	Composição elementar: Enxofre (S), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Fósforo (P), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Silício (Si), Boro (B), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Alumínio (Al), Estanho (Sn), crômio (Cr), bário (Ba), níquel (Ni), vanádio (V). Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, indeno(1,23-cd)pireno, benzo(g,h,i)perileno].
Plástico	Setor de resina	Resíduo composto por polipropileno (PP), 100%
Restos de argila (Rebarba)	Prensagem	Dióxido de silício (SiO₂), 61% Óxido de alumínio (Al₂O₃), 22% Óxido de ferro(III) (Fe₂O₃), 3,6% Óxido de magnésio (MgO), 0,3% Óxido de cálcio (CaO), 0,3% Óxido de sódio (Na₂O), 0,1% Óxido de potássio (K₂O), 0,9% Óxido de titânio (TiO₂), 1,6%
Tambor de aço	Setor de resina	Resíduo composto por: aço inoxidável (ferro, Fe (74%);

		cromo, Cr (18%) e níquel, Ni (8%), compostos fenólicos e polímero/resina Epóxi.
Gases das chaminés do forno da cerâmica	Queima dos cavacos de eucalipto	Massa de N ₂ - 62,5203% Massa de H ₂ O - 12,3227% Massa de CO ₂ - 25,0304% Massa de O ₂ - 0,0000% Massa de SO ₂ -0,0281% Massa de NO ₂ -0,0985%

Fonte: Autor (2020)

ETAPA 3 – Cálculo dos potenciais de impacto ambiental de cada resíduo para cada uma das categorias de impacto utilizando o método RECIPE.

Nesta pesquisa, primeiramente foi escolhido um método que tivesse como nível de avaliação do impacto atribuído a caracterização *midpoint*, isto é, que utiliza indicadores específicos do processo produtivo, (envolvendo processos físicos, químicos e biológicos), antes de chegar ao ponto final da categoria (ABNT, 2009). Além disso, que o método utilizado fosse de abrangência de aplicação global, e que englobasse um maior número de categorias.

Diante dessas variáveis foi escolhido o método RECIPE para o desenvolvimento do índice para avaliação do desempenho ambiental aplicável ao processo produtivo do setor industrial de cerâmica. Esse método tem como objetivo principal transformar a longa lista de resultados do inventário do ciclo de vida em um número limitado de pontuações de indicadores.

As pontuações do indicador expressam a gravidade relativa de uma categoria de impacto ambiental. No RECIPE, determina-se indicadores em dois níveis: 18 indicadores de ponto médio e 3 indicadores de ponto final.

Cada método, (ponto médio, ponto final), contém fatores de acordo com as três perspectivas culturais. Essas perspectivas representam um conjunto de opções em questões como tempo ou expectativas de que o gerenciamento adequado ou o desenvolvimento futuro da tecnologia possam evitar danos futuros. Individualista: curto prazo, otimismo de que a tecnologia pode evitar muitos problemas no futuro;

Hierarquista: modelo de consenso, como frequentemente encontrado em modelos científicos, esse é geralmente considerado o modelo padrão e igualitário: longo prazo, baseado no pensamento de princípio da precaução.

Algumas das vantagens da estrutura RECIPE em relação a outras abordagens incluem: O conjunto mais amplo de categorias de impacto no ponto médio e sempre que possível, ele usa mecanismos de impacto com escopo global e ao contrário de outras abordagens (Eco-Indicador 99, Método EPS, LIME e Impact 2002+), ele não inclui impactos potenciais de extrações futuras na avaliação de impacto, mas assume que tais impactos foram incluídos na análise de inventário.

O RECIPE 2016 é uma melhoria em relação ao RECIPE 2008 e seus predecessores CML 2000 e Eco-indicador 99. O RECIPE2016 foi desenvolvido em colaboração entre o Instituto Nacional Holandês de Saúde Pública e Meio Ambiente (RIVM), Radboud University Nijmegen, Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia e PRé (NATIONAL INSTITUTE FOR PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT MINISTRY OF HEALTH, WELFARE AND SPORT, 2018).

Nessa etapa do estudo será calculado cada potencial de impacto das categorias ambientais do RECIPE para cada resíduo do processo produtivo de telhas e tijolos.

Os potenciais de impacto serão calculados usando o método RECIPE (2008), que define o potencial de impacto com a expressão:

$$I_{i,j} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{i,j} \cdot m$$

Onde:

- $I_{i,j}$ é o resultado do indicador (impact potential) para a intervenção (substancia) i (para *midpoint*) na categoria j
- m é a magnitude (massa) da intervenção (por exemplo, a massa de CO₂ liberada no ar)
- $Q_{i,j}$ o fator de caracterização que conecta a intervenção (substancia) i com a categoria de impacto j

ETAPA 4 – Normalização dos potenciais de cada resíduo

Os potenciais de impacto são apresentados em unidades heterogêneas e retratam os impactos ambientais de uma forma que não satisfaz inteiramente aos problemas percebíveis ou a ameaças predominantes antes de se fazer a normalização. Nesse âmbito,

a normalização proporciona uma posição de referência da pressão sobre o meio ambiente a cada categoria do impacto ambiental, (SLEESWIJKA et al., 2008; UNEP/SETAC, 2011).

Na normalização é natural que os potenciais de impacto sejam contrastados com uma unidade comum para todas as categorias, ou seja, é o cálculo das magnitudes relativas para expor os resultados de um jeito adequado para a ponderação final e tomada de decisão. Em suma, é inserir as categorias de impacto numa mesma base para auxiliar na análise dos dados, visto que, no inventário as categorias possui suas unidades de cálculo específicas, e com a normalização é presumível assentar em uma referência comum, que no caso dessa pesquisa é pessoa/ano – p/a.

É importante destacar, que os valores da normalização são os cálculos dos resíduos e subprodutos da cerâmica a nível Brasil, para em seguida ser quantificado em um índice que será usado para avaliação do desempenho ambiental desse setor. Esta etapa utilizará o método RECIPE para a normalização.

ETAPA 5 - Ponderação relativa entre os potenciais calculados

O Método de Hierarquia Analítica (AHP), desenvolvido por Saaty (1991), é uma prestigiada ferramenta de tomada de decisão multicritério que tem sido usada em inúmeras aplicações e em vários campos: da economia, da política e da engenharia. De acordo com Chai et al. (2013), o método AHP permite atribuir um valor que representa o grau de preferência para uma dada alternativa a cada alternativa adicional. Esses valores podem ser usados para classificar e selecionar alternativas com base em uma estrutura hierárquica.

A ponderação consiste em pesos relativos conferidos a distintas categorias de impacto e consumo de recursos. A ponderação é determinada como a união de resultados já calculados previamente para atingir uma única medida total do impacto ambiental do sistema em estudo, e assim analisar e interpretar os dados. Isto é, são ponderados entre si os diferentes impactos tendo como resultado final um valor relativo das alternativas e categorias relacionadas para cálculo do impacto total do sistema em estudo, (WESTKÄMPER; ALTING; ARNDT, 2000; OLIVEIRA; CRISTOBAL; SAIZAR, 2016).

A etapa de ponderação incide em multiplicar os fatores de ponderação pelo resultado da normalização, (etapa anterior), para cada uma das categorias de impacto. A

ponderação é comumente aplicada perante a forma de fatores de ponderação linear ou método de análise multivariada, isto é, neste estudo foi utilizado o IAHP (Improved Analytic Hierarchy Process) (MENOUFI, 2011).

Nesta dissertação, para a etapa de ponderação dos potenciais, foi utilizado o método IAHP, ou em português (análise hierárquica de processos melhorada), que incide em uma variante do Método de Análise Hierárquica de Processos (AHP) apresentado por Saaty em 1991.

O método AHP original requisita uma comparação em pares de diversas alternativas em correlação a cada um dos atributos e uma comparação por pares das próprias propriedades. O número e o tamanho das matrizes de comparação crescem ao passo que o número de alternativas e/ou atributos aumentam (RAO, 2013). Isso pode ser avaliado como um dos problemas principais da técnica de AHP, onde acontece um aumento quadrático no número de comparações, dependendo do número de alternativas (mais precisamente, $[n \times (n-1) / 2]$) (ZHANG, 2015).

O método IAHP foi escolhido por conseguir lidar com eficiência e com atributos objetivos. Uma matriz de comparação é estabelecida utilizando uma escala de importância relativa neste método (ZHANG, 2015), que sugere uma forma sistemática de normalização dos valores dos atributos e a conversão dos valores subjetivos em valores objetivos (RAO, 2013).

O fator de ponderação para o impacto ambiental precisa demonstrar a gravidade do efeito potencialmente ocasionado pelo impacto e as possíveis decorrências deste efeito em relação aos outros efeitos ambientais deparados na normalização (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

Para obter resultados de forma rápida e lidar com o ponto negativo do método AHP original, decidiu-se por usar o software MindDecider (www.minddecider.com). Esse software oferece uma opção importante no estudo que é habilitar a atividade "auto resolver dependências" sendo que esta alternativa diminui a quantidade de perguntas com base nas aceções de correlação estabelecidos antes.

Roodchenko e Banin (2015), afirmam que, se o usuário adentrar nas seguintes proporções durante a comparação em pares: $X < Y$ e $Z > Y$, a função "auto resolver dependências" faz uma presunção lógica de que $X < Z$. De maneira alternativa, quando for inserido: $X < Y$ e $Y = Z$, a função "auto resolver dependências" formula que $X < Z$. Desse modo, dependendo de uma ordem de comparação, a função "auto resolver

dependências" pode diminuir o número de solicitações até quase linear no caso mais adequado.

ETAPA 6 - Desenvolvimento do índice de avaliação de processos ambientais (DIAPA)

O índice DIAPA é uma evolução de REBELATO et al. (2019), e foi desenvolvido de forma a ser diretamente proporcional a:

- a) O potencial de impacto ambiental relativo, ($V(a)_i$), de cada resíduo originado nos processos de produção, uma vez que a natureza entre eles são extremamente diversas;
- b) A quantidade relativa de cada resíduo gerado em um determinado período de tempo;
- c) A cobertura geográfica relativa, (dispersão espacial relativa), que cada resíduo pode cobrir, uma vez que cada um deles pode atingir diferentes graus de acordo com: a rota de disposição (ar, água ou solo); sua composição química; e sua condição física;
- d) A avaliação categórica da adequação final do descarte praticado pela empresa para cada resíduo.

A fórmula DIAPA é:

$$\sum_{i=1}^n \frac{V(a)_i \cdot A_i}{\sum_{j=1}^n V(a)_j \cdot A_j} \cdot K_i \cdot 100$$

Onde:

n = número de resíduos / subprodutos;

$V(a)_i$ = valor (relativo) do impacto ambiental. É o valor relativo do potencial de impacto, calculado por meio do método RECIPE (2016), de cada resíduo/ subproduto i ;

A_i = impacto relativo da dispersão geográfica de cada resíduo/ subproduto i .

K_i = coeficiente de avaliação da destinação final de cada resíduo/ subproduto i .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Contexto investigado

Para o teste do índice criado foram utilizados os dados de uma indústria cerâmica, onde foram realizadas visitas técnicas durante o ano de 2019 pelo pesquisador. Os dados dos resíduos e subprodutos foram coletados por meio de documentos que foram disponibilizados pela empresa, e pesquisa bibliográfica para a identificação da composição química dos materiais utilizados no processo.

A empresa, objeto do teste foi fundada em 16 de janeiro de 1973, está instalada no município de Ituiutaba, interior do Estado de Minas Gerais, Brasil. Essa cidade fica aproximadamente 676 Km da capital Belo Horizonte.

A empresa possui uma área construída de cerca de cinco mil metros quadrados de uma área total de doze mil metros quadrado, dividido em área de produção e escritório administrativo, possui um quadro funcional 37 empregados entre setor produtivo e administrativo da empresa. As visitas se deram no ano de 2019, e contou com a presença do gerente responsável pela empresa.

Essas visitas aconteceram a partir da observação do local estudado e reunindo informações documentais da indústria, entrevistas para obter todas as informações do ciclo produtivo, com seus respectivos resíduos e subprodutos, bem como as quantidades geradas e a disposição no meio ambiente.

4.2 Dados dos resíduos/subprodutos da indústria

Nesta fase da pesquisa estão reunidos os dados dos resíduos/subprodutos produzidos em cada operação de fabricação, determinando a quantidade anual de cada resíduo/subproduto e sua destinação (Quadro 2).

Vale ressaltar que a quantidade anual de cada resíduo e sua destinação foi informada pela empresa visitada para o teste.

Quadro 2. Quantidade anual e destinação

Resíduo/ Subproduto	Quantidade anual	Destinação
Restos de cerâmica (cacos)	58.585 kg	Prefeitura e Proprietários Rurais (aplicação em trechos de estradas esburacadas)
Cinzas oriundas da queima dos cavacos de eucalipto	2.070 kg	Prefeitura e Proprietários rurais (aplicação em trechos de estradas esburacadas)
Papelão	1.200 kg	Vai com as telhas no palete, e volta para a empresa para reutilização. Quando não se dá para utilizá-lo mais é destinado a reciclagem.
Óleo queimado/utilizado	576 L	Usado para lubrificar a Vagoneta de telhas e tijolos. A vagoneta é um equipamento utilizado no transporte de tijolos, que facilita a locomoção e agiliza o processo de transporte. Esse equipamento sempre deve ser lubrificado.
Plástico	720 kg	Sem fim predestinado / usado na própria empresa e após isso destinado a reciclagem
Restos de argila (Rebarba)	10.800.000 t	Reutilizados novamente no processo de produção
Tambor de aço	624 kg	Sem fim predestinado / usado na própria empresa e após isso destinado a reciclagem
Gases das chaminés do forno da cerâmica	3553000 Kg	Liberado no ar pelas chaminés

Fonte: Autor (2020)

4.3 Cálculo dos potenciais de impacto

A próxima etapa foi a realização do cálculo de cada potencial de impacto das categorias ambientais do RECIPE para cada resíduo do processo produtivo da indústria cerâmica, (Tabela 2). Para o cálculo dos potenciais foi utilizado o método RECIPE, sendo considerado as seguintes categorias: mudança climática, material particulado, acidificação da terra, eutrofização marinha, eutrofização da água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre e formação de ozônio fotoquímico.

Vale evidenciar a importância da etapa anterior para procedência do cálculo dos potenciais, sendo que de posse dos dados, (quantidades de resíduos e subprodutos da empresa, composição química e massa anual), foi possível identificar a quantidade de cada substância presente no total dos resíduos e subprodutos.

Tabela 2. Cálculos dos potenciais ambientais para cada categoria

Resíduos/Subprodutos	Mudança climática kg CO2 eq	Acidificação da terra kg SO2 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 PM10 eq	Ecotoxicidade terrestre kg 1,4-DB eq	Ecotoxicidade da água doce kg 1,4-DB eq	Ecotoxicidade marinha kg 1,4-DB eq
Restos de cerâmicas (cacos)	0	0	0	0	7,49E+01	0	0	4,78E-01	4,78E-01	2,29E-03
Cinzas oriundas da queima dos cavacos de eucalipto	0	0	4,55E+01	0	7,07E+03			3,22E+02	1,23E+01	1,19E+02
Restos de argila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Papelão	0	4,416	0	3,60E+03	0	0	0	0	0	0
Plástico	0	0	0	0	0	0	0			
Óleo queimado/utilizado	0	4,6	3,40E-01	0	3,65E+00	0	0	5,38E+00	4,70E-01	1,00E-01
Tambor de aço	0	0	0	0	6,10E+01	0	0	5,46E+02	2,67E+02	1,53E+02
Gases oriundos da queima de cavacos	0	1,09E+04	0	7,37E+02	0	1,89E+04	5,24E+03	0	0	0

Fonte: Autor (2020)

4.4 Normalização

O cálculo da normalização foi realizado com base na computação dos potenciais conforme demonstrado na Tabela 2, dividido pelo fator de normalização, conforme apresentado na Tabela 3, em que cada categoria tem uma equivalência estabelecida pelo método RECIPE para que tenha uma única referência, de forma a facilitar a próxima etapa que é a ponderação.

Tabela 3. Fator de normalização utilizados

Categoria de impacto ambiental	Fator de normalização	Unidade/ Dimensão
Mudança climática	kg CO ₂ eq/p/ano	6,89E+03
Acidificação da terra	kg SO ₂ 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 PM ₁₀ 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: RECIPE (2016)

Vale apontar que após os cálculos, os valores se encontram em uma única dimensão/unidade. Na normalização é comum que os potenciais de impacto sejam comparados com uma unidade comum para todas as categorias, isto é, o cálculo das magnitudes relativas para apresentar os resultados em uma forma adequada para a ponderação final. O resultado da normalização pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Potenciais normalizados

Resíduos/Subprodutos	Mudança climática	Acidificação da terra	Eutrofização da água doce	Eutrofização marinha	Toxicidade humana	Formação de ozônio fotoquímico	Material particulado	Ecotoxicidade de terrestre	Ecotoxicidade da água doce	Ecotoxicidade marinha
Restos de cerâmicas (cacos)	0	0	0	0	2,30E-01	0	0	8,06E-02	1,11E-01	9,29E-04
Cinzas oriundas da queima dos cavacos de eucalipto	0	0	1,57E+02	0	2,17E+01			5,43E+01	2,86E+00	4,84E+01
Restos de argila	0	0	0	0		0	0			
Papelão	0		0	4,90E+02	0	0	0			
Plástico	0	0	0	0	0	0	0			
Óleo queimado/utilizado	0	0		0	1,12E-02	0	0	9,07E-01	1,09E-01	4,07E-02
Tambor de aço	0	0	0	0	1,87E-01	0	0	9,20E+01	6,20E+01	6,23E+01
Gases oriundos da queima de cavacos	0	2,84E+02	0	1,00E+02	0	3,33E+02	3,71E+02	0	0	0

Fonte: Autor (2020)

4.5 Ponderação

De posse dos dados anteriores, nessa fase foi aplicado o método IAHP, com o uso do software Mind Decider, propiciando o cálculo do peso relativo $Va(i)$ (tabela 5).

O método IAHP trabalha com objetivo, critério e alternativa, sendo considerado como objetivo os impactos dos resíduos/subprodutos na produção de telhas e tijolos. Como critérios foram considerados as categorias: mudanças climáticas, material particulado, acidificação da terra, eutrofização marinha, eutrofização da água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre e formação de ozônio fotoquímico. Já como alternativas foram considerados os oito resíduos/subprodutos da empresa em estudo: restos de cerâmica (cacos), cinzas oriundas da queima dos cavacos de eucaliptos, restos de argila, papelão, plásticos, óleo queimado/utilizado, tambores de aço e gases oriundos da queima dos cavacos.

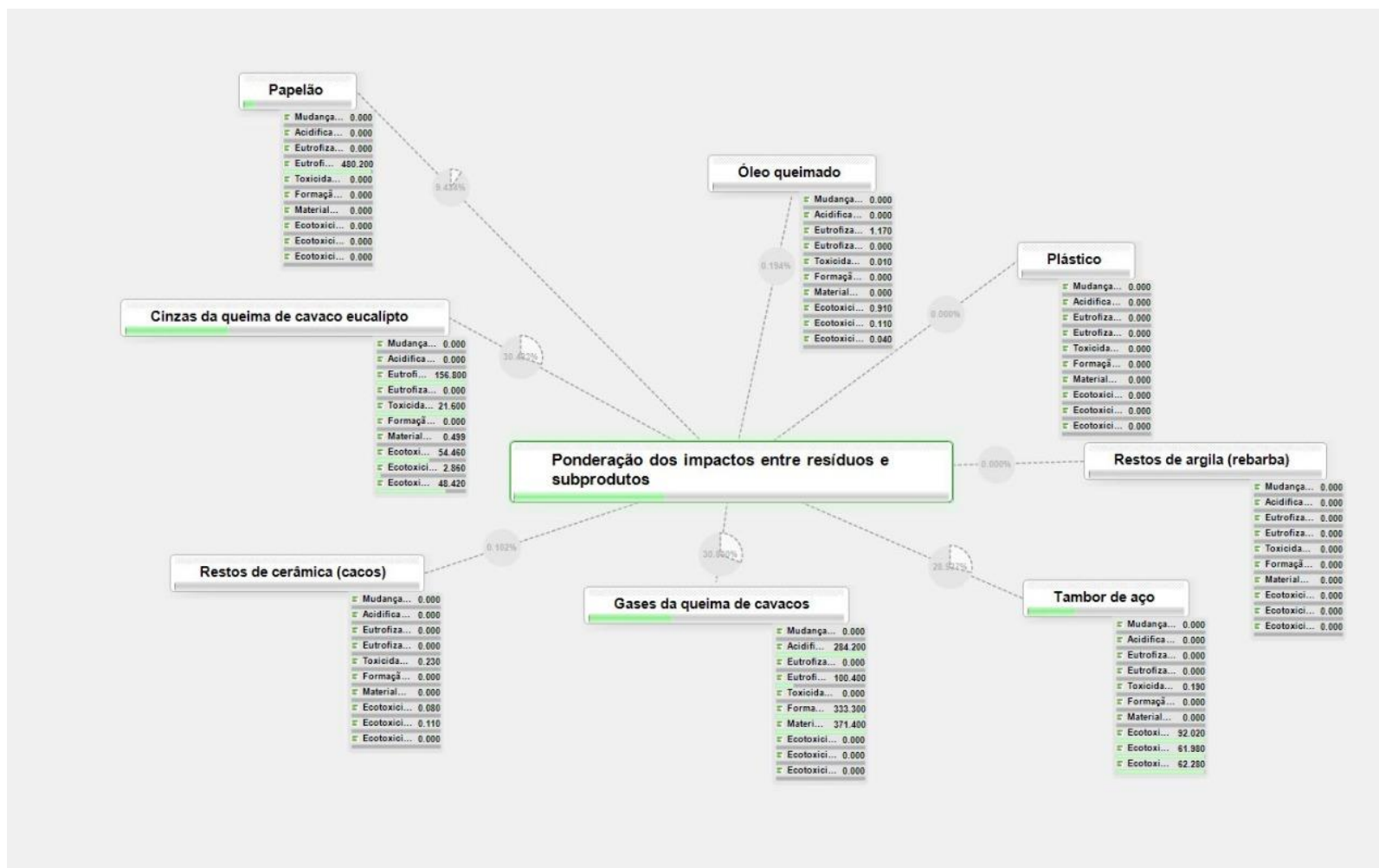
Nesta etapa se faz uma comparação paritária, de dois a dois, utilizando o próprio potencial, por meio do software Mind Decider, fez-se a análise de dois resíduos para uma mesma categoria. Nessa análise é possível ter um potencial calculado, como pode ser visto na Figura 24.

Tabela 5. Peso relativo dos potenciais ambientais para cada resíduo e subproduto

RESÍDUOS/ SUBPRODUTOS	$V(a)i$ (%)
Gases oriundos da queima de cavacos	30,850
Cinzas oriundas da queima de cavacos	30,483
Tambor de aço	28,937
Papelão	9,434
Óleo utilizado/ Óleo queimado	0,194
Restos de cerâmica (Cacos)	0,102
Restos de argila (rebarba)	0
Plástico	0
TOTAL	100

Fonte: Autor (2020)

Figura 23. Ponderação dos impactos entre resíduos e subprodutos

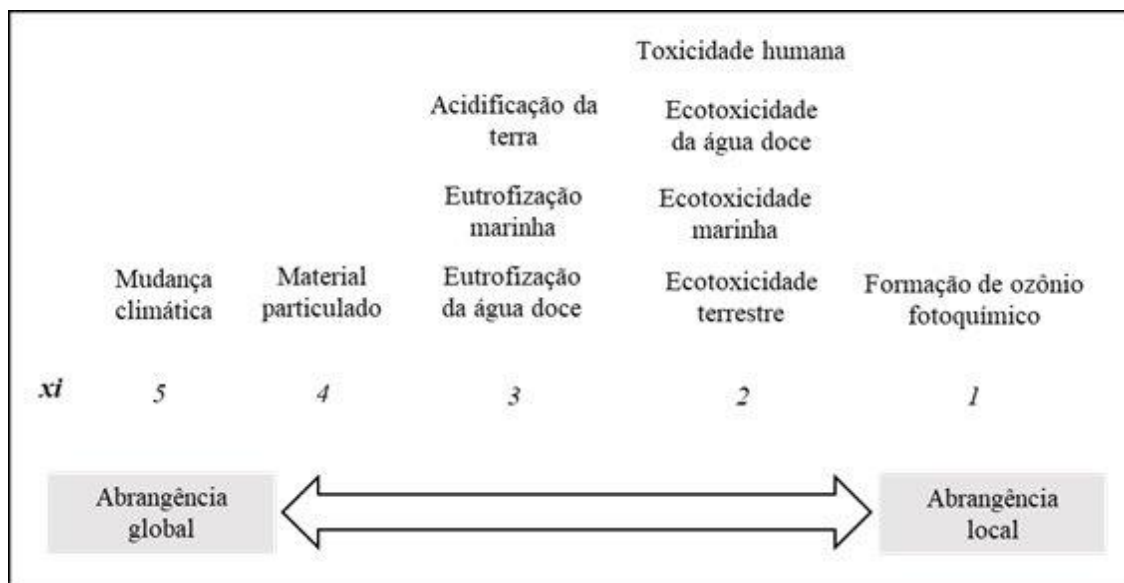


Fonte: Mind Decider (2020)

4.6 Cálculo do índice para Avaliação do Desempenho Ambiental da indústria cerâmica

A abrangência relativa da emissão $x=i$ (Tabela 6), foi definida de acordo com a Figura 25, onde foi colocado o número correspondente à categoria mais afetada em cada resíduo e subproduto.

Figura 24. Abrangência global e Abrangência Local



Fonte: RECIPE (2016)

Em relação a avaliação categórica foi definido $k=0$, o que significa que o resíduo e subproduto não tem uma destinação correta ou $k=1$, que indica possuir uma destinação ambiental correta.

A partir do cálculo da variável $V(a)i$, foi possível calcular o DIAPA, (Tabela 6). Como se vê por meio da Tabela 5, o resíduo com o maior peso relativo $Va(i)$ calculado foram os gases oriundos da queima de cavacos (30,850%). A queima dos cavacos de eucaliptos da indústria cerâmica produz os gases N_2 , H_2O , O_2 , SO_2 e NO_2 . O CO_2 foi desconsiderado porque o eucalipto é uma fonte renovável, portanto absorve da atmosfera o CO_2 que está sendo queimado.

Trata-se de um resíduo com alto potencial de impacto ambiental nas seguintes categorias ambientais: mudança climática, acidificação da terra, eutrofização marinha, formação de ozônio fotoquímico e material particulado. Estima-se que a indústria cerâmica em estudo gerou cerca de 11.999.600 Kg de N_2 , 2.365.100 Kg de H_2O , 5.400

Kg de SO₂ e 18.900 Kg de NO₂ por meio da queima dos cavacos de eucaliptos no último ano. A participação relativa dos gases oriundos da queima de cavacos na composição do DIAPA calculado para a empresa estudada foi zero. Ou seja, esse resíduo impactou negativamente na formação do DIAPA. Isto porque o DIAPA é um índice que avalia a adequabilidade ambiental ponderada da destinação e, neste caso, o ki atribuído a este resíduo foi $k=0$, pois, a indústria cerâmica libera os gases diretamente no ambiente. Esta prática foi considerada ambientalmente inadequada, mesmo que legalmente lícita.

As cinzas oriundas da queima de cavacos foi o subproduto com o segundo maior peso relativo $Va(i)$ calculado (30,483%). As cinzas apresentam um amplo espectro de elementos químicos potencialmente perigosos: Mg, Al, Si, P, S, K, Cl, Ca, Ti, Mn e Fe. É um subproduto com alto potencial em termos de: eutrofização da água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha. As cinzas receberam uma avaliação negativa em termos da adequabilidade final de sua destinação, pois, são destinados pela indústria cerâmica à prefeitura e proprietários rurais, onde os mesmos reaproveitam esse subproduto colocando-as em estradas esburacadas, desta forma considerou-se $k=0$. Portanto, as cinzas impactaram negativamente no DIAPA final calculado.

O terceiro resíduo com o maior peso relativo $Va(i)$ foi o tambor de aço com 28,937%. Esse resíduo é composto por aço inoxidável, possuindo também em sua composição Fe, Cr e Ni, tem impacto nas seguintes categorias: toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade da água doce e ecotoxicidade marinha. A destinação desse resíduo é a reutilização do mesmo na própria empresa, e após isso é redirecionado a coleta seletiva de reciclagem da cidade, por isso, $k=1$. Sua participação percentual no DIAPA final calculado corresponde a 66,69%.

O quarto resíduo com o maior peso relativo $Va(i)$ calculado foi o papelão (9,434%). O papelão é um resíduo muito rico em lignina, celulose e hemicelulose, C, H, O, N e S. Além disso, tem impacto em termos de eutrofização marinha. Para a empresa estudada, o ki atribuído ao papelão foi 1, pois, foi um resíduo destinado de forma “adequada” pela empresa, uma vez que mesmo é reutilizado na empresa e posteriormente é destinado à coleta seletiva de reciclagem. Este resíduo participa em 32,61% no DIAPA.

O óleo utilizado/queimado aparece em quinto lugar em termos de peso relativo $Va(i)=0,194\%$. O óleo utilizado/queimado é composto por S, Ca, Zn, Pb, P, Fe, Mg, Na,

Si, B, Mn, Cu, Mo, Al, Sn, Cr, Ba, Ni, V e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. As categorias de impacto observadas foram: toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade da água doce e ecotoxicidade marinha. A destinação final é considerada adequada e, portanto, $k=1$. A sua participação percentual no DIAPA final calculado foi de 0,447%.

O sexto subproduto com o maior peso relativo $Va(i)$ calculado foram os restos de cerâmicas, (cacos), com 0,102%. Os restos de cerâmica são ricos em SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , CaO , TiO_2 e MnO , e impacta nas seguintes categorias: toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade da água doce e ecotoxicidade marinha. A empresa gera cerca de 58.585 kg de restos de cerâmica, (cacos), por ano. Cem por cento desse subproduto é destinado à prefeitura e proprietários rurais, onde são reutilizados nas estradas de terra da zona rural do município. Isso é considerado correto e utilizado em muitas cidades que possuem problemas em estradas rurais esburacadas, portanto $k=1$, esse subproduto participa moderadamente em 0,235% no DIAPA final calculado para a empresa.

Em sétimo lugar em termos de peso relativo $Va(i)$ calculado aparece os restos de argila, (rebarba), com influência de zero por cento, (0%). Dessa forma, esse resíduo não contribuiu na formação do DIAPA. Os restos de argila, (rebarba), não teve impacto em nenhuma categoria. A atribuição de k_i , que é o índice categórico que expressa a adequabilidade da destinação do resíduo/subproduto, no caso dos restos de argila, comumente denominada rebarba, foi $k=1$. Isto porque, no estudo realizado, os restos de argila têm como destino final a reutilização, ou seja, é um resíduo importante para a empresa, pois, manuseando-o de forma adequada é possível seu reaproveitamento no processo produtivo.

Também com zero por cento (0%), em termos de peso relativo $Va(i)$ calculado aparece o plástico. Esse resíduo é composto exclusivamente por polipropileno, (PP), e não impacta em nenhuma das categorias analisadas. Ele é reutilizado na própria empresa e, após isso é destinado a coleta seletiva de reciclagem do município, portanto, $k=1$. A sua contribuição para o DIAPA é zero por cento, (0%).

Finalmente, observa-se o DIAPA final calculado de 28,732% para a empresa do teste. Isto significa que 28,732% da massa ponderada de resíduos/subprodutos tem destinação ambientalmente correta.

Tabela 6. Resultados de $V(a)$ i, A_i , K_i , DIAPA, e percentual de participação no DIAPA geral para a empresa do teste

Resíduos/Subprodutos	Ponderação relativa $V(a)_i$	Abrangência relativa da emissão = x_i	K_i – Avaliação categórica	DIAPA (%)	Contribuição para o DIAPA (%)
Gases oriundos da queima de cavacos	30,85000	5	0	0,00000	0,000000000
Cinzas oriundas da queima de cavacos de eucalipto	30,48300	2	0	0,00000	0,000000000
Tambor de aço	28,93700	2	1	19,16459	66,699704960
Papelão	9,43400	3	1	9,37202	32,618015858
Óleo utilizado/ queimado	0,19400	2	1	0,12848	0,447169463
Restos de cerâmica (Cacos)	0,10200	2	1	0,06755	0,235109718
Restos de argila (Rebarba)	0,00000	1	1	0,00000	0,000000000
Plástico	0,00000	1	1	0,00000	0,000000000
TOTAL	100	21		28,73265	100,00000

Fonte: Autor (2020)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um índice para avaliação do desempenho ambiental aplicável ao processo produtivo da indústria cerâmica. Para alcançar tal finalidade, o índice desenvolvido para avaliação do desempenho ambiental demonstra, em valor percentual, a adequação da destinação dos resíduos e subprodutos gerados nas atividades de fabricação da indústria cerâmica.

Esse método possibilita ao setor cerâmico levar em consideração que quanto mais as empresas agregar esforços na gestão ambiental, maior é a sua eficiência da adequação ambiental nas destinações dadas aos resíduos e subprodutos gerados nos seus processos de produção.

O índice proposto está relacionado a: ponderação relativa $V(a)_i$; ao impacto relativo da dispersão geográfica de cada resíduo/subproduto (A_i), a abrangência relativa da emissão = x_i e ao coeficiente de avaliação da destinação final de cada resíduo/subproduto = K_i .

O uso do índice proposto permite: avaliar o impacto ambiental em relação a sua destinação, o monitoramento do desempenho ambiental através do teste e aplicação desse índice e quantos por cento da massa ponderada dos resíduos/subprodutos está ambientalmente correta. O teste do DIAPA permitiu verificar que seis resíduos e subprodutos gerados pela empresa tem destinação adequada, são eles: tambor de aço, papelão, óleo queimado/utilizado, restos de cerâmica (cacos), restos de argila (rebarba), e plástico.

Já os resíduos/subprodutos cuja destinação é considerada inadequada estão os gases oriundos da queima de cavacos, que teve zero contribuição relativa para o total do índice e as cinzas oriundas da queima de cavacos de eucalipto que também teve zero contribuição para o DIAPA.

Com isso, a empresa onde foi aplicado o teste obteve um índice de 28,732%, o que significa que 28,732% dos resíduos e subprodutos possuem destinação considerada ambientalmente adequada. Esse índice é considerado baixo, e isto se deve principalmente ao resíduo gases oriundos da queima de cavacos e o subproduto cinzas oriundas da queima de cavacos de eucaliptos que possui sua destinação inadequada.

Em relação ao gases oriundos da queima de cavacos, gases como: N_2 , H_2O , O_2 , SO_2 e NO_2 , são simplesmente lançados na atmosfera, e muitos desses gases são poluentes atmosféricos causadores do efeito estufa. A emissão de gases poluentes faz com que a composição química da atmosfera seja alterada, modificando dessa forma a temperatura média do planeta, causando desequilíbrio do efeito estufa e do aquecimento global.

Outro subproduto que é responsável pelo baixo índice do teste são as cinzas oriundas da queima de cavacos, que são reaproveitadas pela prefeitura e proprietários rurais destinando-as para o aproveitamento em estradas esburacadas. Portanto, essas cinzas são inseridas no meio ambiente, sendo que contém elementos químicos considerados perigosos, como por exemplo o manganês, que se inalado e ingerido pelo organismo humano em grandes quantidades podem provocar efeitos diversos no sistema neurológico e respiratório.

Dentre as contribuições deste trabalho, está o levantamento das etapas de todo o processo produtivo de telhas e tijolos, bem como seus resíduos e subprodutos gerados. Além disso, foi possível a criação de um índice de desempenho ambiental aplicável ao processo produtivo da indústria cerâmica. Este índice pode ser utilizado tanto na empresa do teste como em qualquer outra indústria do setor cerâmico.

O índice mostrou ser uma ferramenta adequada para a avaliação do desempenho ambiental do setor cerâmico, sua aplicação poderá fazer com que as indústrias desse segmento revejam suas formas de gerir, propiciando uma atenção maior ao meio ambiente, uma política de preservação ambiental bem gerida pelas empresas do setor propiciará que essas empresas melhorem sua imagem perante seus clientes.

5.1 Limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros

Verifica-se como limitação nesse estudo a existência de uma informalidade das indústrias em relação aos dados de seu processo produtivo e dos seus resíduos e subprodutos. Dessa forma, vê-se uma oportunidade para futuras pesquisas nessa área do conhecimento e para a participação de especialistas brasileiros que possam auxiliar e assessorar essas empresas a ter um banco de dados estruturado e representativo sobre seus resíduos e subprodutos, destinação, processo produtivo e quantidade anual de cada

resíduo e subproduto. Uma empresa dispondo esses dados consequentemente facilita a aplicação do índice de desempenho ambiental.

Dada a relevância do tema e a carência de estudos que abordem essa temática, a avaliação do desempenho ambiental do processo produtivo da indústria cerâmica, pode ser ampliada para posteriores estudos abrangendo desde os processos preliminares (extração da argila), até a expedição final dos produtos (telhas e tijolos), levando em consideração toda a cadeia produtiva.

Outra sugestão é o desenvolvimento de índices ambientais para outros setores industriais. Na literatura, já existem indicadores para indústria sucro-energética (THOMAS, 2017), indústria de couro (FERREIRA, 2017), indústria de celulose (FIGUEIREIDO, 2018), indústria têxtil (DUTRA e OLIVEIRA, 2018), e agora indústria cerâmica. Setores agrícolas como: café, soja, tabaco, milho, mate, entre outros são alguns exemplos de estudos que podem ser realizados.

Por fim, é indispensável adicionar efetivamente a aplicação do índice ADA nas organizações do setor cerâmico, de forma a orientar as empresas a gerir os riscos oriundos de suas atividades, propiciando o uso mais racional dos recursos naturais, desenvolvendo métodos mais sustentáveis na preservação e conservação do meio ambiente.

5.2 Implicações gerenciais

O método utilizado pode ser aplicado para medir o impacto ambiental gerado por qualquer indústria cerâmica. Além disso, o resultado da pesquisa será apresentado ao responsável pela empresa onde foi realizado o teste, onde serão apresentadas as mesmas propostas de melhorias em relação aos resíduos e subprodutos que são destinados incorretamente no meio ambiente. Isso fará com que de fato uma avaliação de desempenho ambiental seja realizada, onde problemas poderão ser resolvidos mediante aos resultados encontrados na dissertação.

REFERÊNCIAS

- ABC - **Associação Brasileira de Cerâmica: ABCERAM**. Informações diversas. São Paulo – 2011. Disponível em: < abceram.org.br/>. Acesso em 30 de outubro de 2019.
- ABNT. ABNT NBR ISO 14031 - Gestão ambiental – avaliação de desempenho ambiental – diretrizes. **Associação Brasileira de Normas Técnicas** - ABNT. Rio de Janeiro, p. 38. 2015.
- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (s.d.). Estudos - Estudo Técnico Setorial da Cerâmica Vermelha. Fonte: Site da ABDI - **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**: Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2020.
- ALVES J.O., JUNCA E, ESPINOSA D.C.R., Tenório J.A.S. Resíduo do corte de granito: inovação tecnológica para a destinação final. **Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração**.12:123-128, 2015.
- AL-ZWYALIF, I. M. Using a Balanced Scorecard Approach to Measure Environmental Performance: A Proposed Model. **International Journal of Economics and Finance**, 9, n. 8, p. 118-126, 2017.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção**. São Paulo: PINI, 2012.
- ANDRADE, C. S.; SOUSA, C. A.; RAUPP, F. Modelo de Avaliação de Desempenho Ambiental. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia da Produção - ENEGEP**,1-7, 2013.
- ANFACER. **A cerâmica na atualidade**, 2012. Disponível em: < <https://www.anfacer.org.br/> > Acesso em: 29 de outubro de 2019.
- ANICER - **ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA**. Informações diversas. São Paulo,2019. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/>>. Acesso em: 28 de outubro de 2019.
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. (s.d.). Sala de Imprensa - Relatório Anual- 2015. Fonte: Site da ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica: <http://anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf> Acesso em: 02 de março de 2020.
- ANTONOV, P.; SELLITTO, M. A. Avaliação de Desempenho Ambiental: estudo de caso na indústria papelreira. **Revista Produção Online**, Florianópolis, 11, 1059-1081, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Normas da Série ISO 14000. ABNT NBR ISO 14031. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL – BNDES. **Informe Setorial – Panorama do Setor de revestimentos cerâmicos no Brasil**. Brasília- DF, 2013.
- BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 4ª Edição.São Paulo: Saraiva, 2016.

BARROS, G. A. A.; SOUZA, J. A.S. Simulação de um Processo de Produção para uma Linha de Produção de Blocos Vazados em uma Indústria de Cerâmica Vermelha com Auxílio da Ferramenta Arena. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, 2018.

BARE, J. C., NORRIS, G. A., PENNINGTON, D. W. e McKONE, T. E. TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts. **Journal of Industrial Ecology**, 6(3), 49-78, 2003.

BASTOS, F. A. Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto. **Dissertação**. Florianópolis, 2003.

BENOIT, V.; ROUSSEAUX, P. Aid to aggregate impacts on life cycle assessment. **Int. J. Life cycle evaluation**. 8 (2), p. 74 - 82, 2003.

BLASS, A. P.; GOUVÊA DA COSTA, S.E.; LIMA, E.P.; BORGES, L.A. Measuring environmental performance in hospitals: A practical approach. **Journal of Cleaner Production**, 142, 279-289, 2017.

Blog Losinox Aço Inox. Disponível em: <http://blog.losinox.com.br/2017/12/14/diferenca-entre-o-aco-inox-430-e-o-304/> Acesso em 07 de novembro de 2019.

C. BRINK, EC VAN IERLAND, L. HORDIJK, C. KROEZE. Cost-effective reduction of emissions in agriculture in the presence of interrelationships: cases for the Netherlands and Europe Ecological Economics. **Agricultural Water Management**, 53, p. 59 - 74, 2005.

C. JASCH. Environmental performance assessment and indicators. **Journal of Cleaner Production** ,8, p. 79 - 88, 2000.

CAMPOS, L. M. S. SGADA - Sistema de Gestão e avaliação de desempenho ambiental: uma proposta de implementação. 247 f. **Tese (Doutorado em Engenharia da Produção)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A. Indicadores de desempenho dos sistemas de gestão ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. **Produção**, 18, 540-555, 2008.

CAPRA, F., **A teia da vida**. São Paulo-SP: Cultrix, 1996.

CBIC - **CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO**. PIB 2011. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/home/pib-2015>. Acesso em: 28 de outubro de 2019.

CLAUDIA ROSALES-LANDEROS, CARLOS EDUARDO BARRERA-DÍAZ, BRYAN BILYEU, VÍCTOR VARELA GUERRERO, FERNANDO UREÑA NÚÑEZ. "A Review on Cr(VI) Adsorption Using Inorganic Materials". **American Journal of Analytical Chemistry**, 2013, 4, 8-16.

COELHO, A. C. VIEIRA; SANTOS, P. S.; SANTOS, H. DE S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 30, n. 1, p. 146-152, 2007.

CORREIA, J. V. F. B.; FRAGA, Y. S. B. PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA COMO AGREGADO MIÚDO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Aracaju, 27 out. 2019.

COLTRO, Leda; GASPARINO, Bruno F.; QUEIROZ, Guilherme de C. Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Campinas, 2008.

COSTA, I.; MASSARD, G.; AGARWAL, A. Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 18. 815-822, 2010.

COSTA, T. C.; BELDERRAIN, M.C.N. (2009). Decisão em Grupo em Métodos Multicritério de Apoio à Decisão. Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós - Graduação do ITA (XV ENCITA/ 2009). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, Outubro, 19 a 22, 2009.

CORREIA, S.L.; BLOOT, L.A.; FOLGUERAS, M.V. Propriedades químicas, mineralógicas e cerâmicas de argilas do norte de Santa Catarina, Brasil; Caracterização físico-química de argilas da região norte de Santa Catarina. **Escritório de Informações Científicas e Técnicas do Departamento de Energia dos EUA**, Guarujá, 2009.

CRASTA, G. P. Boom in digital technology. **Ceramic World Review**, n. 97, p. 64-67, 2012

CUNHA, J. M. O. L. Avaliação do Desempenho Ambiental de uma Cadeia de Abastecimento – Estudo de Caso de uma Indústria do Sector Automóvel. **Dissertação de Mestrado**. Aveiro: Universidade Aveiro, 2010.

CML, (2007). CML 3.2 developed by the Centre for Environmental Studies (CML). December 2007. University of Leiden, The Netherlands.

CHAI, CS, KOH, JHL, & TSAI, C.-C. A review of Technological Pedagogical Content Knowledge. **Education Technology and Society**, 16 (2), 31–51, 2013.

DE LUCA, A. I.; IOFRIDA, N.; LESKINEN, P.; STILLITANO, T.; FALCONE, L.; STRANO, UM.; GULISANO, L. 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, 2017.

DELAI, I.; TAKAHASHI, S. Uma proposta de modelo de referência para mensuração da sustentabilidade corporativa. **RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental**, 2008. p. 19-40.

DIAS, M. D. C. O., Mauri, C.B. P., Pedro, L. F. D. e Jair F. V., **Manual de impactos ambientais**: orientações básicas sobre aspectos ambientais atividades produtivas, Banco do Nordeste, Fortaleza, 1999.

DIAS-SARDINHA, I.; REIJNDERS, L. Environmental Performance Evaluation and Sustainability Performance Evaluation of Organizations: an Evolutionary Framework. **Eco-management and auditing**, p. 71-79, 2001.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. Multicriteria Decision Aid Classification Methods, vol. 73, **Kluwer Academic Publishers**, Boston, 2004.

DUBEY, R.; GUNASEKARAN, A.; HELO, P.; PAPADOPOULOS, T.; CHILDE, S.J.; SAHAY, B.S. Explaining the impact of reconfigurable manufacturing systems on environmental performance: The role of top management and organization culture. **Journal of Cleaner Production**, 141,56-66, 2017.

DUTRA, M. G.; LEITE, A. O. S. **Avaliação de desempenho de empresas especializadas em construção de plantas industriais: gestão de indicadores ambientais.** Revista Tecnologia, [S. l.], p. 1-20, 21, 2020.

EEA (European Environmental Agency). **Environmental Indicators: Typology and Overview** Technical report N. 25. Copenhagen, Norway, 1999.

EL-GAMAL, S.M.A., EL-HOSINY, F.I., AMIN, M.S., et al., “Ceramic waste as an efficient material for enhancing the fire resistance and mechanical properties of hardened Portland cement pastes”, **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 1062–1078, 2017.

ESCRIG-OLMEDO, E., MUNÓZ, M.J., FERNÁNDEZ-IZQUIERDO, M.A., RIVERA-LIRIO, J.M. Measuring Corporate Environmental Performance: A Methodology for Sustainable Development. **Business Strategy and the Environment**, p. 142-162, 2017.

FERREIRA, B. S. **DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL (ADA) DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO COURO**, 2017. Dissertação (Mestrado).

FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. PRODUTO: Lubrax Grans THF(20W-30) – Composição e informações sobre os ingredientes. Duque de Caxias – RJ, 2015.

FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. PRODUTO: Lubrax Gear– Composição e informações sobre os ingredientes. Duque de Caxias – RJ, 2015.

FIGUEIREDO, P. C. **CONSTRUÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE EMPRESAS DO SETOR DE CELULOSE**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Discente

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M. A. Diagnóstico Ambiental das de Industrias de Cerâmicas Vermelhas no RG. In: **Anais** do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, p.13, 2001.

GUGGENHEIM, S., HILLIER S., JAYNES, W., MAURICE, P., POZO, M., VELBEL. M. **The Clay Minerals Society Glossary for Clay Science Project**. Virgínia: The Clay Minerals Society; 2015, Disponível em: <http://www.clays.org/Clay_Glossary.htm> Acesso em 13 de novembro de 2019.

GUIMARÃES, C. E.; TEIXEIRA, C.E.; CIRANI, C.B.S.; SANTOS, M.A. Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná. **Desenvolvimento em questão** , p. 171-202,2017.

GUINÉE, J. B. **Handbook on Life Cycle Assessment: operational guide to the ISO Standards**. Kluwer Academic Publishers, 2002.

GOEDKOOP, M., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., SCHRYVER, A., STRUIJS, J. RECIPE: a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. **Ministerie van Volkshuisvesting**. (Report, 1), 2009.

HAUSCHILD, M. Z., e WENZEL, H. **Environmental assessment of products** (Vol. 2). United Kingdom: Chapman & Hall, Hingham: Kluwer Academic Publishers, 1998.

- HARIZ, S.; BAHMED, L. "Assessment of environmental management system performance in the Algerian companies certified ISO 14001", **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Vol. 24 Issue: 2, pp.228-243, 2013.
- HENRI, J.; JOURNEAULT, M. Environmental performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms. **Journal of Environmental Management**, p. 165-176, 2008.
- HERVA, M., FRANCO, A., FDEZ-CARRASCO, E., ROCA, E. The ecological footprint of production processes as indicator of sustainability. **Ingeniería Química**, v. 460, p. 180-186, 2008.
- HERMANN E, CALL J, HERNANDEZ-LLOREDA MV, HARE B, and TOMASELLO M. Humans have evolved specialized skills of social cognition: the cultural intelligence hypothesis. **Science**, 317(5843):1360–1366, 2007.
- HUANG, I.B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multicriteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends.Sci. **Total Environment**. 409 (19), p. 3578 - 3594, 2011.
- HUANG, I.B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multicriteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends.Sci. **Total environment**. , 409 (19), p. 3578- 3594, 2011.
- HUIJBREGTS, M., HAUSCHILD, M., JOLLIET, O., MARGNI, M., McKONE, T., ROSENBAUM, R. K., E VAN de MEENT, D. **USEtox™ User manual**, 2010.
- HUMMEL, M.; MÄÄTTÄNEN, M.; SÄRKILÄHTI, A.; HARLIN, A.; SIXTA, H. Upcycling of waste paper and cardboard for textiles. **Royal Society of Chemistry**, Finlândia, 2015.
- ITSUBO, N., E INABA, A. **A new LCIA method: LIME has been completed**. The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(5), 305-305, 2003.
- ITCG** – Instituto de Terras, Cartografia, e Geologia do Paraná. Argila. Disponível em: < <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=29%3E%20Acesso>>. Acesso em 31 de outubro de 2019.
- JABBOUR, A. B. L. 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*, 16, janeiro 2014. p. 7-9.
- JASCH, C. Journal of Cleaner Production. **Environmental performance evaluation and indicators**, v. 8, fev 2000. p. 79-88.
- J. THORESEN. Environmental performance assessment - a tool for industrial improvement. **Cleaner production journal**, 7, pp. 365 - 370, 1999.
- JASCH, C. Journal of Cleaner Production. **Environmental performance evaluation and indicators**, v. 8, p. 79-88, 2000.
- JESWANI, HK.; AZAPAGIC, A.; SCHEPELMANN, P.; RITTHOFF, M. Options for broadening and deepening approaches to LCA. **J. Clean. Prod.** , 18 (2), p. 120 - 127, 2010.
- JUNYI CHAI, JAMES N.K. LIU, E.W.T. NGAI. **Application of decision-making techniques in supplier selection**: a systematic review of literature Expert Syst. Appl. 40 (2013), pp. 3872-3885.

JUNIOR M.C., TANNO L.C., SINTONI A., MOTTA J.F.M., COELHO J.M., A Indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil: Desafios para o Aprimoramento da Competitividade. **Cerâmica Industrial**.17 (1):36-42, 2012.

JOINT RESEARCH CENTRE – JRC. **Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment: background document.** (ILCD Handbook), 2010.

JOINT RESEARCH CENTRE – JRC. **Recommendations based on existing environmental impact assessment models and factors for life cycle assessment in European context.** (ILCD Handbook), 2011.

JOLLIET, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G., E ROSENBAUM, R. **IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology.** The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(6), 324-330, 2003.

JUNIOR, M. C.; AZEVEDO, P. B. M.; CUCHIERATO, G. Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte I – Introdução e a Indústria de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, 2019.

KEMNA, R., van ELBURG M., Li, W., e van HOLSTEKJIN, R. **MEEUP: the methodology Report.** Brussels: European Commission. (Final version), 2005.

KITSIOU D, KARYDIS M. Assessment of coastal marine eutrophication: A review of data analysis. *Environ. Int.* 37: 778-801, 2011.

LE TENÓ E MARESCHAL. A range version of Promethee for comparing the design of construction products with poorly defined environmental quality data. **EUR. J. Oper. Res.**, 109 (2) (1998) , p. 522 - 529 , 10.1016 / S0377-2217 (98) 00074-5, 1998.

LEITE, M. G; GONÇALVES-FUJACO, M.A. “A atividade de beneficiamento de quartzitos na cidade de Ouro Preto-Brasil: características gerais e principais impactos ambientais”, **Economia, Sociedad y Territorio**, XIII (41), El Colegio Mexiquense, a. c., Zinacantepec, pp. 227-243, 2013.

LI, C. P.; HUI, I. K. Environmental Impact Evaluation Model for Industrial Process. **Environmental Management**, 27, 729-737, 2001.

LINARD, Z. Ú. S. D. A.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. Percepções dos impactos ambientais da indústria de cerâmica no município de Crato estado do Ceará, Brasil. **Economía, sociedad y Territorio**, v. 15, n. 48, p. 397-423, 2015.

LINKOV, I.; MOBERG, E. Multicriteria Decision Analysis: Environmental Applications and Case Studies Crc Press, **Boca Raton**, EUA (2012).

LINKOV I, BATES ME, CANIS LJ, SEAGER TP, KEISLER JM (2011) Uma abordagem orientada a decisões para priorizar a pesquisa sobre o impacto de nanomateriais no meio ambiente e na saúde humana. *Nat Nanotechnol* 6: 784–787.

LUCENA, L. F. L. A análise multicriterial na avaliação de impactos ambientais. I Encontro Nacional da EcoEco - Campinas-SP, 1996.

MANZARDO, A.; REN, J.; PIANTELLA, A.; MAZZI, A.; FEDELE, A.; SCIPIONI. Integration of water footprint and cost accounting for an optimal mix of chemical pulp supply in the paper industry. **J. Clean. Prod.** , 72, p. 167 - 173, 2014.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida revisão dos principais métodos. **Produção**,p. 160-175,2015.

TOFFOLETTO, L., BULLE, C., GODIN, J., REID, C., E DESCHÊNES, L. LUCAS: a new LCIA method used for a canadian-specific context. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 12(2), 93-102, 2007.

Minist. Meio Ambiente, “**Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**”, MME, Brasília (2015).

MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING E THE ENVIRONMENT. **Eco-indicator 99** manual for designers: a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, 2000.

MORETTI, T. V. **Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: análise para casos brasileiros**. 112 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MYLLYVIITA, HOLMA. A.; ANTIKAINEN R.; LÄHTINEN, K.; LESKINEN, P. Environmental impact assessment of biomass production chains - application of life cycle assessment (LCA) and multi-criteria decision analysis (MCDA). **J. Clean. Prod.** , 29-30, p. 238 - 245, 2012.

NORTON, F.H. **Elements of ceramics**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

NIXON SW. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia*. 41: 199-219. Quoted in Nixon SW. 2009. Eutrophication and macroscope. *Hydrobiology*. 629: 5-19.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting. Emergy and environmental decision making**. Nova York: John Wiley and Sons, 1996.

OLIVEIRA, M, C. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Branca e de Revestimento**. FIESP, 2008.

OLIVERA, A., CRISTOBAL, S. Y SAIZAR, C. Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social: una herramienta para la evaluación de impactos y soporte para la toma de decisiones. **INNOTECH Gestión**, 7, 20-27, 2016

OLIVEIRA, T. Y. M. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. **Monografia (Curso de Engenharia Civil)** - Universidade Federal do Rio de Janeiro / Escola Politécnica, 2015.

PEREIRA, Liz Carmem Silva; BARROS, Djalmira de Sa Almeida; WHITAKER, Jussara Saldanha; ROCHA, Hilario Vasconcelos; RODRIGUES, Erotildes Santos; MORAES, MARIA I. F. **Trilhas do Rio Tapajós: Perspectivas Socioambientais para a sustentabilidade**. Itaituba, Ione Sena, 2015.

PEROTTO, E.; MARCHESI, R.; CANZIANI, R.; BUTELLI, P. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, março. p. 517-530, 2008.

PEROTTO, E.; MARCHESI, R.; CANZIANI, R.; BUTELLI, P. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, March, p. 517-530, 2008.

PUIG, M.; WOOLDRIDGE, C.; DARBRA, R. M. Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development. **Marine Pollution Bulletin**, 81, 124-130, 2014.

REBELO DE MIRA, R., KROEZE, C., Greenhouse gas emissions by willow-based electricity: a scenario analysis for Portugal and the Netherlands. **Energy Policy**, 34, p. 1367 - 1377, 2006.

Relatório de amostragem em fontes estacionárias (CHAMINÉ) – EPP. **Laboratório de Gases da Combustão**. Ituiutaba, 2015.

REIS, J. A.; SELMITTO, M. A. Avaliação de desempenho ambiental de um fabricante de máquinas. **Revista Eletrônica de Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 19, 1589-1599, 2015.

REIS EMBALAGENS – Embalagens Industriais Certificadas. Tambor de aço tampa removível. Disponível em: <
http://reisembalagens.com.br/tambor_de_aco_tampa_removivel.html>. Acesso em 30 de outubro de 2019.

RESENDE, Domingos Sávio de; FILHO, Herbet Radispiel; KELES, José Genário; GOUVEIA, Antonio Maria Claret de; BEZERRA, Augusto Cesar da Silva; AGUILAR, Maria Teresa Paulino. CINZAS DE CAVACO DE EUCALIPTO PROCESSADAS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS. 20º CBECIMAT - **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Joinville, 2012.

REBELATTO D, LEAL TS e MORAES CP. Fenologia de duas espécies de Ipê em uma área urbana no município de Araras, São Paulo, Brasil. **REVSBAU**, 8:1-16, 2013.

ROCA, E.; ARCA, J.C.; CALO, J.; ZUMALAVE, J.A. Indicators and systems of environmental monitoring. In: **Environmental Information Systems**. Netbiblo, A Coruña, Spain, p. 95-116, 2005.

RODRIGUES, A. M.; REBELATO, M. G.; ZEVIANI, C. H. Methodological benchmark for environmental performance evaluation in metalworking companies. **Business and Management Review**. 285-299, 2015.

RODRIGUES, A. M.; ZEVIANI, C.H.; REBELATO, M.G.; BORGES, L.; Avaliação de Desempenho Ambiental Industrial: avaliação de um-referencial metodológico. **Produção on line**, 15,101-134, 2015.

ROTH,S.; HIRSCHBERG, S.;BAUER, C.; BURGHERR, P.; DONES, R.; SCHENLER, W. Sustainability of the electricity supply technology portfolio . **Ann. Nucl. Energy**. (1), 36 (3), p. 409 - 416, 2009.

SANCHÉZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SALES, A.T.C., ALFERES FILHO, R. dos S., “Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto”, **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 113–125, 2014.

SANTOS, E.L; LIED, E.B.; ACERGO, C.V.; FAQUIM, V.; FRARE, P.R.; MOREJON, C. F. M. Avaliação de Impacto Ambiental da Indústria Cerâmica Estrutural como Ferramenta da Produção Mais Limpa. **INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION**, São Paulo, 2017.

SEARCY, C.; KARAPETROVIC, S.; MCCARTNEY, D. Designing sustainable development indicators: analysis for a case utility. **Measuring Business Excellence**, v. 9. p. 33-41, 2005.

SEBRAE - **SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS**. Ideias de Negócios Sustentáveis: indústria de cerâmica. Brasília: SEBRAE, 2005.

SEBRAE - **SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS**. Ideias de Negócios Sustentáveis: indústria de cerâmica. Brasília: SEBRAE, 2008.

SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. Modelagem para avaliação de desempenho ambiental em operações de manufatura. *Gestão & Produção*, v.17, n.1, p.95-109, 2010.

SHIELDS, DJ.; BLENGINI, G.A. SV Solar. Integrating life cycle assessment and other tools for ex ante integrated sustainability assessment in the minerals industry. **American Journal of Applied Sciences**. J. Appl. Sci., 8 (11), p. 1214 - 1227, 2011.

SILVA, A. L.; CHAVES, A. C.; LUNA, C. B. B.; NEVES, G. A.; LIRA, H. L. Avaliação das composições de massas argilosas a partir da incorporação de resíduo da indústria de cerâmica vermelha na obtenção de membranas cerâmicas tubulares. **Revista Matéria**, Campina Grande, 2016.

SILVA, D. A. L.; LAHR, F.A.R.; VARANDA, L.D.; CHRISTOFORO, A.L.; OMETTO, A.R. Environmental performance assessment of the melamine-ureaformaldehyde formaldehyde (MUF) resin manufacture: a case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 299-307, 2015.

SILVA, D. J. R.; SOARES, E. K. L.; ALMEIDA, J. G. R. Proposta de implantação de sistema de gestão ambiental em uma cerâmica no estado do Tocantins. Original Article. **J Business Techn**. Araguaína, 2019.

SILVA, L. C.; COSTA, A. P. C. S. Modelagem Multicritério para Aplicação de Políticas de Sustentabilidade nas Empresas de Tecnologia. In: XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Ubatuba-SP, 15 a 18 de agosto de 2011.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CERÂMICA NO RIO GRANDE DO NORTE – SINDECER. **A História da Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.sindicermf.com.br/historia-da-ceramica.html>>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

SONG, M. L.; FISHER, R. W. J. L.; CUI, L. B. Environmental performance evaluation with big data: theories and methods. **Annals of Operations Research**, p. 1-14, 2016.

SOUZA, J. V. **Estudo e Desenvolvimento de Alternativas para o aproveitamento de Resíduo das Indústrias de Revestimentos Cerâmicos**. São Paulo. 2003.

STEEL DRUMS. Disponível em: <<https://translate.google.com/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=https://www.steel-plastic-fibre-drums.com/steel-drums/&prev=search>> Acesso em 07 de novembro de 2019.

STEEN, B. **A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS) (Version 2000)**. Gothenburg: Chalmers University of Technology. (CPM report 1999:4), 1999.

THOMAZ, A. G. B. **CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL (ADA) DE INDÚSTRIAS SUCROENERGÉTICAS: UM ESTUDO MULTICASOS**. 2017. Dissertação (Mestrado).

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; SETAC - The Society For Environmental Toxicology and Chemistry ; Life Cycle Initiative. Paris 2011. Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases A Basis for Greener Processes and Products.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, 519-549, 2001.

VENTURA, K. S.; REIS, L. F. R.; TAKAYANAGUI, A. M. M. Evaluation of waste management services. **Environmental Sanitary Engineering**, 15. 167-176, 2010.

WONG, C. W. Y. W. et al. Part of the series Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. **Environmental Management**, p. 1-27, 2016.

XAVIER, L. H.; MATOS, R. M. B. Indicadores de desempenho ambiental corporativo. In: ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. S. **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. 1. ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, Cap. 10, p. 299-32, 2013.

ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; SOARES, S. R. How Multicriteria Decision Analysis (MCDA) is assisting Life Cycle Assessment (LCA) in interpreting results. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 172, p. 609-622, 2018.

ZEVIANI, C. H.; RODRIGUES, A. M.; REBELATO, M. G. Levantamento da produção científica brasileira em gestão ambiental empresarial em periódicos da área de administração entre 2007 e 2012. In: **X Congresso Online de Administração (CONVIBRA)**, 2013.

ZUO, X., HUA, H., DONG, Z., HAO, C., Environmental Performance Index at the Provincial Level for China 2006–2011. **Ecological Indicators**, v. 75, p. 48-56.

ZUI-CHA D., JIAN-NING Y., LIU Y. An Inverse Problem Arisen in the Zero-Coupon 38 Bond Pricing. **Nonlinear Analysis: Real World Applications**, 11(3), 1278-1288, 2017.

National Institute for Public Health and the Environment Ministry of Health, Welfare and Sport. **LCIA: the RECIPE model**, 2018. Disponível em: <
<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/RECIPE>> Acesso em: 25 de novembro de 2019.

Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira MDM, Hollander A, Van Zelm R, 2016. [RECIPE2016: Um método harmonizado de avaliação de impacto do ciclo de vida no ponto médio e no ponto final.](#) Relatório RIVM 2016-0104. Bilthoven, Holanda

SLEESWIJKA, A. W. et al. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **Science of The Total Environment**, 2008. p. 227 – 240.

UNEP/SETAC. **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment**: Making informed choices on products. UNEP/SETAC, 2011.

WESTKÄMPER, E.; ALTING; ARNDT. Life Cycle Management and Assessment: Approaches and Visions Towards Sustainable Manufacturing (keynote paper). **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 49, 2000. p. 501-526.

MENOUFI, K.A.I. Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art. University of Lleida Polytechnic School Master of Applied Sciences in Engineering. Spain, 2011, 60 p.

SAATY, T.L. **Método de Análise Hierárquica**, Makron Books do Brasil Editora Ltda, Rio de Janeiro, 1991.

RAO, J. R. et al. Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. **Journal of Cleaner Production**, 2003. p. 591–599.

ZHANG, M. Application and Research of Improved AHP Model in Employment of College Student. **The Open Cybernetics & Systemics Journal**, 2015. p. 1212-1217.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental Assessment of Products**. Chapman & Hall, Massachusetts, 1997.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental Assessment of Products: Methodology, tools and case studies in product development**. 2. ed. ed. Copenhagen: **Kluwer Academic Publishers**, 2000.

XIULIN, S.; DAWEI, L. An Improvement Analytic Hierarchy Process and Its Application in Teacher Evaluation. Fifth International **Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications**, 2014.

ZHANG, M. Application and Research of Improved AHP Model in Employment of College Student. **The Open Cybernetics & Systemics Journal**, 2015. p. 1212-1217.

ZUI-CHA D., JIAN-NING Y., LIU Y. An Inverse Problem Arisen in the Zero-Coupon 38 Bond Pricing. **Nonlinear Analysis: Real World Applications**, 11(3), 1278-1288, 2017.