

Universidade Estadual Paulista

Kelly Patrícia Martins

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DO
DESEMPENHO AMBIENTAL DO
PROCESSO PRODUTIVO DE PAPEL E
CELULOSE

Jaboticabal

2020

KELLY PATRÍCIA MARTINS

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE
PAPEL E CELULOSE

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

M386i Martins, Kelly Patrícia
Índice de avaliação do desempenho ambiental do processo produtivo de papel e celulose / Kelly Patrícia Martins. -- Jaboticabal, 2020
91 p. : tabs.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Rebelato, Marcelo Giroto
Coorientadora: Saran, Luciana Maria

1. Papel e celulose. 2. Índice ambiental. 3. Avaliação de desempenho ambiental. 4. Recipe. 5. Resíduos. 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.

Kelly Patrícia Martins



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE PAPEL E CELULOSE

AUTORA: KELLY PATRÍCIA MARTINS

ORIENTADOR: MARCELO GIROTTI REBELATO

COORDENADORA: LUCIANA MARIA SARAN

Aprovada 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 (Participação Virtual)
Departamento de Economia, Administração e Educação / FCAV / UNESP - Jaboticabal

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

Profa. Dra. ANDREIA MARIZE RODRIGUES (Participação Virtual)
Departamento de Economia, Administração e Educação / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 09 de novembro de 2020

Dedico esse trabalho ao meu pai Onofre Anésio Martins (*in memória*) e ao meu esposo
Lázaro Antônio Laurindo por compartilhar comigo esta trajetória.

AGRADECIMENTOS

A trajetória que me trouxe até este momento foi longa, muitas foram as pessoas que contribuíram positivamente e muitas outras que me motivaram ainda mais, rotulando negativamente, pela forma diferente com que vejo e ajo diante de tudo. Sou profundamente grata a todos os envolvidos direta ou indiretamente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. por aceitar me orientar, por ter me guiado por todo este processo de construção do meu entendimento de pensar mais metodicamente, pelas broncas sempre pertinentes, pela forma direta de falar, pela experiência proporcionada nas aulas, deixando encontrarmos o caminho, obrigada.

A minha coorientadora, Prof.^a Dra. Luciana Maria Saran por despender muitas horas me orientando em cada etapa dos cálculos químicos por sempre me atender e por seu empenho para conseguir a visita na empresa da qual desenvolvi o estudo.

Agradeço a Prof.^a Dra. Andréia Marize por colaborar muito no início do mestrado colocando as coisas de maneira a tornar tudo mais fácil e prático. Sempre me recebendo com um sorriso acolhedor e muito atenciosa.

Ao Prof. Dr. Roberto por transmitir seus conhecimentos de forma cortês, a Prof.^a Dra. Ana Terence por me tirar da zona de conforto e mostrando o caminho com doçura, ao Prof. Dr. Adriano pela praticidade, a Prof.^a Dra. Glaucia pela deferência com cada um, se informando das nossas trajetórias e pelo conhecimento que me trouxe das possibilidades atualizadas e em cada situação, a Prof.^a Dra. Giovana Tommaso da USP de Piracicaba por ter me acolhido na turma e por proporcionar uma experiência diferente.

Aos meus colegas de curso pela troca de experiências, pelo enorme prazer de ter compartilhado com eles deste momento tão especial e desejado da minha vida em especial meu colega Leandro Divino Miranda de Oliveira, por partilhar desta trajetória.

O meu agradecimento especial é para o meu esposo, por sempre acreditar em mim, e ver que a minha capacidade de lutar se iguala a minha de aprender, pela paciência, pela colaboração com seu imenso conhecimento e pela clareza com que me faz ver tudo, muito obrigada, amor da minha vida.

Muitas vezes as coisas que me pareceram verdadeiras quando comecei a concebê-las tornaram-se falsas quando quis colocá-las sobre o papel.

René Descartes

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE PAPEL E CELULOSE

Resumo

Objetivos: O objetivo desta pesquisa é propor um índice para avaliar o desempenho ambiental e testá-lo em uma unidade de produção de papel e celulose. Os objetivos específicos para a pesquisa foram: conhecer os resíduos/subprodutos e seus respectivos volumes na fabricação de papel e celulose; criar os constructos e dimensões do índice; desenvolver o mecanismo do índice de desempenho ambiental para indústria de papel e celulose; testar e aplicar o índice.

Metodologia / Procedimentos de Pesquisa: Para tanto foi desenvolvido uma estrutura metodológica com mapeamento do processo de produção da indústria de aplicação do índice, identificando os resíduos/subprodutos com os seus respectivos volumes e composição química, após esta etapa foi feito a caracterização dos impactos conforme método ReCiPe seguido do cálculo do potencial impacto em cada resíduo/subproduto, de posse dos resultados foi feito a normalização e realizado a ponderação relativa entre os potenciais de impacto obtidos através do IAHP, (Análise Hierárquica de Processos Melhorada), e seguiu-se com o desenvolvimento do Irda – Índice Referente ao Desempenho Ambiental, com suas dimensões e constructos depois o índice foi testado em uma indústria de produção de papel e celulose, e para finalizar a discussão dos resultados.

Resultados e Discussões: Como resultado da aplicação do índice apresentaram-se as emissões atmosféricas (35,028%) e as cinzas (24,704) com maior capacidade de causar impacto, já o lodo secundário (17,382%), a lama de cal (10,591%), e lodo primário (8,41%) também representaram-se com percentual elevado para o índice, o lixo eletrônico (0,152%), *grits* (0,614%), os *dregs* (1,65%), e as cascas de eucaliptos (1,338%) apresentaram-se com resultados medianos para o índice, as bombona vazias (0,024%), a sucata metálica (0,019%), os tubetes (0,018%), o papel e celulose (0,017%), a borracha (0,007%), o óleo usado (0,003%), os paletes danificados (0,00005%), e as lâmpadas (0,00004%), apresentaram-se com baixo potencial de impacto, já os resíduos que zeraram para o índice foram o plástico, a graxa, as pilhas e baterias, o vidro, e a sucata de feltro.

Implicações Gerenciais: As implicações desta pesquisa tendem a ser positivas para o setor de papel e celulose, apontando e dando a dimensão específica do que deve ser melhorado através de um indicador único.

Conclusões e Limitações da Pesquisa: O índice de 70,7% que foi obtido com a pesquisa se apresentou como favorável para avaliar o desempenho ambiental da indústria de papel e celulose, contribuindo e se mostrando importante para as melhorias aplicáveis em situações complexas e que demanda muitas interações favorecendo e aprofundando a gestão ambiental. Conclui-se que o índice Irda desenvolvido, cumpriu a tarefa de determinar o potencial de impacto ambiental e realizar uma avaliação do desempenho ambiental do processo de produção da indústria de papel e celulose. As limitações desta pesquisa se deu em função de limitar a pesquisa ao setor de produção e preterir o setor de plantio.

Originalidade: A originalidade do trabalho está no desenvolvimento do índice IRDA índice referente ao desempenho ambiental para avaliar o desempenho ambiental tomando como base o potencial de impacto ambiental relativo, a quantidade relativa dos resíduos e subprodutos gerados no processo produtivo de papel e celulose, outro fator é quanto a cobertura geográfica relativa seguida da avaliação categórica da adequabilidade final de cada resíduo e subproduto empregadas pela empresa dentro do seu plano de gestão.

Palavras-chave: Papel e celulose; índice ambiental; avaliação de desempenho ambiental.

EVALUATION INDEX OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE PAPER AND CELLULOSE PRODUCTIVE PROCESS

Abstract

Objectives: The objective of this research is to propose an index to assess environmental performance and test it in a pulp and paper production unit. The specific objectives for the research were: to know the waste / by-products and their respective volumes in the manufacture of paper and cellulose; create the index constructs and dimensions; develop the mechanism of the environmental performance index for the pulp and paper industry; test and apply the index.

Methodology / Research Procedures: For this purpose, a methodological structure was developed with mapping of the production process of the industry of application of the index, identifying the residues / by-products with their respective volumes and chemical composition, after this stage, the characterization of the impacts was made according to ReCiPe method followed by the calculation of the potential impact on each waste / by-product, in possession of the results, normalization was carried out and the relative weighting of the impact potentials obtained through the IAHP was carried out (Improved Hierarchical Process Analysis), and followed with the development of Irda - Environmental Performance Index, with its dimensions and constructs, after which the index was tested in a pulp and paper industry, and to finalize the discussion of the results.

Results and Discussions: As a result of the application of the index, atmospheric emissions (35.028%) and ash (24.704) were shown to have a greater capacity to cause an impact, while secondary sludge (17.382%), lime sludge (10.591%) , and primary sludge (8.41%) also represented a high percentage for the index, electronic waste (0.152%), grits (0.614%), dregs (1.65%), and eucalyptus bark (1,338%) presented average results for the index, empty bombons (0.024%), metal scrap (0.019%), tubes (0.018%), paper and cellulose (0.017%), rubber (0.007%), used oil (0.003%), damaged pallets (0.00005%), and light bulbs (0.00004%), presented low impact potential, whereas the waste that zeroed for the index was plastic , grease, batteries, glass, and felt scrap.

Managerial Implications: The implications of this research tend to be positive for the paper and cellulose sector, pointed out and giving the specific dimension of what should be improved through a single indicator.

Conclusions and Limitations of the Research: The 70.7% index that was obtained with the survey was shown to be favorable to assess the environmental performance of the pulp and paper industry, contributing and proving to be important for the improvements applicable in complex and demanding situations many interactions favoring and deepening environmental management. It is concluded that the developed Irda index fulfilled the task of determining the potential for environmental impact and carrying out an assessment of the environmental performance of the production process of the paper and cellulose industry. The limitations of this research were due to limiting the research to the production sector and neglecting the planting sector.

Originality: The originality of the work is in the development of the IRDA index index related to environmental performance to assess environmental performance based on the potential for relative environmental impact, the relative quantity of waste and by-products generated in the paper and cellulose production process, another factor it is how much the relative geographic coverage followed from the categorical assessment of the final suitability of each residue and by-product employed by the company within its management plan.

Keywords: Paper and cellulose; environmental index; environmental performance assessment.

Lista de Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTCP	Associação Brasileira Técnica de Papel e Celulose
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AICV	Análise do Impacto Ambiental no Ciclo de Vida
ADA	Avaliação De Desempenho Ambiental
AC	Alterações Climáticas
AHP	Analytic Hierarchy Process
IAHP	Improved Analytic Hierarch Processo
AT	Acidificação Terrestre
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
DA	Depleção da água
DO	Depleção De Ozônio
EAD	Eutrofização De Água Doce
GNCC	Gases Não Condensáveis Concentrados
GNCD	Gases Não Condensáveis Diluídos
GRI	Global Reporting Initiative
ISO	International Organization for Standardization
IDO	Indicador De Desempenho Operacional
ICA	Indicadores De Condição Ambiental
IRDA	Índice referente ao desempenho ambiental
MCA	Métodos De Avaliação Multicritério
PDCA	Plan, Do, Check, Act

FOF	Formação Oxidante Fotoquímica
FMP	Formação De Material Particulado
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
SGA	Sistemas De Gestão Ambiental
ET	Ecotoxicidade Terrestre
TRS	Total Reduced Sulfur

Lista de Figuras

Figura 1	Fluxograma geral de obtenção de celulose e papel.....	7
Figura 2	Usos aplicáveis da lignocelulose.....	9
Figura 3	Avaliação de desempenho ambiental.....	13
Figura 4	Operações de uma organização (visão geral).....	24
Figura 5	Fluxograma da produção de celulose papel e recuperação química.....	30
Figura 6	Fluxograma dos resíduos/subproduto.....	44
Figura 7	Resultado da ponderação entre critérios e alternativas ambientais.....	55
Figura 8	Estrutura da análise hierárquica para ponderação.....	57

Lista de Quadros

Quadro 1	Comparação dos processos de separação dos componentes dos materiais....	8
Quadro 2	Etapas da metodologia.....	25
Quadro 3	Constituintes do licor preto.....	37
Quadro 4	Fonte de gases não condensáveis diluídos.....	38
Quadro 5	Constituintes dos gases não condensáveis.....	42
Quadro 6	Resíduos/subprodutos, quantidades e destinação.....	45
Quadro 7	Composição química aproximada.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1	Potencial de impacto dos resíduos/subprodutos gerados no processo de fabricação de celulose e papel.....	51
Tabela 2	Categorias de impacto, unidade de dimensão e fator de normalização.....	53
Tabela 3	Potencial normalizados.....	54
Tabela 4.	Peso relativo do potencial de impacto.....	56
Tabela 5	Critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos.....	60
Tabela 6	Resultados de $Va(i)$, $K=i$, índice IRDA e percentual de participação no IRDA geral para empresa do teste.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problema de pesquisa.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo geral.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 justificativa.....	4
1.4 Estruturação da pesquisa.....	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 Industria De Papel E Celulose.....	6
2.1.1 Processo de produção da indústria de papel e celulose.....	7
2.1.2 Resíduos e subprodutos.....	10
2.2 Avaliação de desempenho ambiental – ADA.....	11
2.3 Métodos e ferramentas para a avaliação do desempenho ambiental.....	14
2.3.1 CML.....	17
2.3.2 Eco-indicator 99.....	17
2.3.3 EDIP.....	18
2.3.4 EPS.....	18
2.3.5 LIME.....	18
2.3.6 LUCAS	19
2.3.7 MEEuP.....	19
2.3.9 TRACI	20
2.3.10 USEtox	20
2.3.11 ReCiPe.	21
2.4 Indicadores de desempenho ambiental.....	22
3 METODOLOGIA.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
Etapa 4.1 Contexto da empresa.....	29
Etapa 4.1.1 Mapeamento do processo de produção de papel e celulose.....	31
Etapa 4.1.1.1 Macro etapa1: processo de produção de papel e celulose.....	34
Etapa 4.1.1.2 Macro etapa 2 Branqueamento.....	34
Etapa 4.1.1.3 Macro etapa 3 Preparo da celulose papel.....	36
Etapa 4.1.1.4 Macro etapa 4 Recuperação de produtos.....	38
Etapa 4.1.1.5 Macro etapa 5 Caldeiras de recuperação (A e B).....	39
Etapa 4.1.1.6 Macro etapa 6 Recirculação das cinzas.....	43
Etapa 4.1.1.7 Macro etapa 7 Caldeira de recuperação.....	44
Etapa 4.1.2 Identificação dos resíduos/subprodutos e seus volumes.....	46
Etapa 4.1.3 Identificação das composições químicas dos resíduos/subprodutos.	49
Etapa 4.2 Categorização dos impactos conforme método ReCiPe.....	49
Etapa 4.2.1 Cálculo do impacto potencial em cada resíduo e subproduto.....	49
Etapa 4.2.2 Normalização do potencial de impacto.....	53
Etapa 4.2.3 Ponderação relativa entre os impactos potenciais.....	54
Etapa 4.3 - Desenvolvimento do índice.....	58
Etapa 4.4 Aplicação do índice.....	61
4.5 Implicações gerais.....	67
5 CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A maneira na qual produzimos bens de consumo, ou o progresso do desenvolvimento humano das últimas décadas, só pode continuar se forem tomadas medidas globais. (CUNHA e AUGUSTIN, 2014). De acordo com Odum (1988), parte desta energia torna-se indisponível ou não utilizável, deixando recursos imobilizados sem que se possam trazer melhorias na qualidade de vida do homem e do ecossistema causando desordem, o que leva a impactos negativos ao meio ambiente e ao esgotamento de matéria-prima diminuindo a capacidade produtiva do ecossistema o que converge para a dificuldade de haver um retorno de utilização dos recursos nas áreas afetadas para uso econômico-social e ambiental (RUBIRA, 2016). Na percepção de Brandie e Barlette (2016), as ações podem vir ao encontro do desenvolvimento de novos processos de produção e de trabalho útil que minimizem o aumento da entropia global.

O aporte da Avaliação de Desempenho Ambiental - ADA, traz no seu objetivo o detalhamento que se pretende com a aplicação de um conjunto de regras. O sistema estruturado do ADA atende a quaisquer questões e dá diretrizes às organizações, ajudando a eliminar as subjetividades que possam existir na sua implantação e no seu desempenho, promovendo a oportunidade de abordar os riscos, implantar melhorias nos processos de forma contínuo (ABNT, 2004). Esta abrangência gerou nas organizações uma movimentação no sentido de criar ferramentas e metodologias para mensurar e avaliar o seu desempenho ambiental (JANOTT *et al.*, 2018). Segundo salienta Donaire (1999), existem várias maneiras das organizações incorporarem estas questões que envolvem justamente a identificação das ameaças e das oportunidades. Um caminho é se prevenir das ameaças potenciais, manter os pontos fortes e minimizar ou eliminar os pontos fracos, para isto, o envolvimento de toda a organização é crucial neste processo.

Para atender objetivos cada vez mais precisos na identificação dos potenciais de impacto ambiental nos meios de produção tem-se nos métodos e ferramentas de avaliação de desempenho ambiental um caminho cada vez mais promissor e com influências levando a práticas sustentáveis das quais o ambiente necessita para manter seu equilíbrio (SARUBBI e DE MORAES, 2019). A utilização de ferramentas é uma evolução para o entendimento da literatura e no aperfeiçoamento benéfico de métricas e formas de aplicação de boas práticas com uma transição importante da maneira como se vê e como são solucionados os problemas ambientais e econômicos gerados pelos resultados obtidos nas empresas o que permitiu uma discussão sobre conceitos, sem impedir o crescimento das empresas.

Considerando o potencial impacto na produção de papel e celulose que teve sua origem há mais de 2000 anos, e vem se aprimorando desde então. O setor de papel e celulose depende diretamente do meio ambiente, de onde origina sua matéria-prima e para onde segue os resíduos do processo. Em função desta intrínseca natureza da indústria, isto a tornou alvo de uma rígida legislação e de muitos estudos que otimizem e melhorem os processos com menor geração de resíduos e maior aproveitamento (MIRANDA, 2008).

Sendo assim a utilização de métodos e ferramentas para Avaliação de Desempenho Ambiental - ADA, são formas de fazer uma adequabilidade no modo de produção, e proporcionar melhores escolhas com técnicas mais sustentáveis. A aplicação da estrutura e da abordagem de avaliação pode permitir que os formuladores de políticas analisem as necessidades de melhorias que favoreçam o desempenho ambiental (ZHU e CHANG, 2020). Os índices de desempenho ambiental são técnicas importantes dentro deste processo da ADA, pois, pode capturar dados complexos de origens e níveis diversos, e mensurá-los, criando uma estrutura fácil de comunicar.

A exploração contribui na pesquisa e na construção da estrutura metodológica para avaliação do desempenho ambiental, no que concerne a identificação dos resíduos e subprodutos na elaboração do índice para avaliação de desempenho ambiental da indústria de papel e celulose, em função da sua representatividade econômica nacional e mundial, na criação de políticas públicas mais específicas para o seguimento e por se tratar de um setor de grande visibilidade nos aspectos ambientais (RODRIGUES, 2018).

O processo metodológico desenvolvido contribui, sendo replicável para empresas que necessitam de aplicar métodos que atendam sua complexidade nas atividades ligadas a gestão ambiental e na avaliação de desempenho ambiental.

1.1 Problema de pesquisa

O setor de papel e celulose atravessa uma fase de mudança, onde o papel passou a ser substituído pelas mídias eletrônicas, e também devido ao aumento da competitividade com a entrada de produtos com preços baixos gerando a necessidade de uma reestruturação do setor, mas a demanda por produtos papel cresce em outros seguimentos em função dele substituir por produtos fabricados com matéria-prima não renováveis, e a celulose se tratar de um produto renovável. O seguimento tem se adequado a estas transformações buscando por

sustentabilidade ao longo dos anos, e agora considerando ainda mais o desempenho ambiental num esforço conjunto (EMUNDS, 2010).

Algumas práticas de produção conhecidas, e muitas empregadas por empresas sabedoras do potencial de impactos que seus processos promovem em todo ambiente de atuação, aproveitam as oportunidades e os riscos para melhorarem seus processos, pois o momento agora é ultrapassar estas obsoletas práticas ambientais e promover processos que minimizem ainda mais seus potenciais impactos (HRDLICKA, 2018).

Face ao estado de emergência ambiental que se vivencia, e pela velocidade do consumo e a falta de visibilidade da finitude dos recursos naturais, resultante da economia linear de extrair produzir e descartar, gerando em toda a cadeia resíduos e subprodutos; há necessidade de tratar estes resíduos e subprodutos de modo que possam ser reinseridos em processos ou reintegrados ao meio ambiente natural (VIDAL, 2018; PIMENTA *et al.*, 2018).

Em decorrência do impacto ambiental causado pela produção de papel e celulose o setor busca minimizar estes impactos, a criação de índice traz visibilidade dos pontos a serem trabalhados para melhorias. O problema que se apresenta é: como desenvolver um índice para avaliar o desempenho ambiental, com base no potencial de impacto ambiental na fabricação de papel e celulose?

1.2 Objetivos

Para a construção do processo de entendimento desta pesquisa apresentam-se os objetivos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um índice estruturado para avaliar o desempenho ambiental do processo produtivo de papel e celulose.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) conhecer os resíduos e subprodutos e seus respectivos volumes na fabricação de papel e celulose;
- b) criar os constructos e dimensões do índice;
- c) desenvolver o mecanismo do índice de desempenho ambiental para indústria de papel e celulose;
- d) testar e aplicar o índice.

1.3 Justificativa

A indústria de transformação de papel e celulose têm projetos que visam aumento dos plantios, ampliação de fábricas e novas unidades na ordem de R\$ 32,6 bilhões até 2020, e os estudos indicam que buscar por modernização resulta em melhorias no desempenho ambiental (MOURAD, 2014; SÖDERHOLM *et al.*, 2019).

Quando se tem ações para melhorar a gestão ambiental, é possível que no processo de identificação se obtenha um equilíbrio dos parâmetros e os resultados apareçam. Através do processo de avaliação de desempenho ambiental tem se desenvolvido muitas técnicas para mensurar o potencial de impacto dos processos de produção, que a partir da década de 1990 só cresceram os seguimentos que buscam adequações nas mais diversas áreas. A trajetória trilhada até aqui continua fecunda (CORREIA *et al.*, 2019; MELO, 2018; GUIMARÃES *et al.*, 2017). Neste contexto o objetivo é propor a construção e desenvolvimento de um índice, que contribua com o processo de avaliação de desempenho ambiental na produção de papel e celulose.

A utilização de índices de caráter científico, que meçam o desempenho ambiental, mostra de forma mais clara possíveis direções, onde as políticas públicas podem ser mais atuantes para redução dos potenciais impactos ambientais, comunicando um conjunto de fenômenos promovendo uma condição de redução de investimentos, de tempo e recursos financeiros. Os índices resumem para os decisores aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas (BRASIL, 2020).

O desenvolvimento do índice, objetiva encontrar um padrão para possibilitar a implantação de ações de promoção à higidez dos trabalhadores e da comunidade local. A elaboração do índice visa contribuir ainda para criação de indicadores ambientais nacionais validando a necessidade de produção de informações consistentes e indo de encontro com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável-ODS.

A literatura apresenta uma aceitação e aplicação de medidas de avaliação ambiental, pois as empresas veem as mudanças como oportunidade de melhorias e de competitividade (MAÇANEIRO *et al.*, 2015; RACHID, 2016), portanto a relevância acadêmica se dará através do estudo dos produtos e do desenvolvimento do índice, que contribuirá para identificar, se o nível de adequabilidade na destinação dos resíduos e subprodutos no processo de produção de papel e celulose, está adequada para um meio ambiente equilibrado. Com isto o estudo visa auxiliar o setor na avaliação do desempenho ambiental e no sistema de gestão ambiental, gerando uma cadeia de benefícios sociais e ambientais contribuindo para redução do aquecimento global, pela melhora na eficiência de ciclagem dos resíduos e na elaboração de políticas públicas mais práticas de serem aplicadas.

1.4 Estruturação da pesquisa

A dissertação está estruturada em 06 (seis) capítulos, no primeiro capítulo está a introdução, a apresentação da pesquisa, o problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, seguidos da justificativa. O segundo capítulo que segue, tem-se a apresentação da fundamentação teórica sobre os principais temas que permeiam esta pesquisa sendo eles: indústria de papel e celulose, com o processo de produção da indústria de papel e celulose, resíduos e subprodutos, a avaliação de desempenho ambiental - ADA, métodos e ferramentas para a avaliação do desempenho ambiental e indicadores de desempenho ambiental. No terceiro capítulo está apresentada metodologia de pesquisa que foi elaborada a ser aplicada. No capítulo 4 está apresentada a aplicação das etapas desenvolvidas na metodologia com os resultados de cada etapa e as discussões. No quinto capítulo está apresentada as conclusões da pesquisa desenvolvida e por fim as referências utilizadas para elaboração deste estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria De Papel E Celulose

O papel tem sua origem descrita hoje, como tendo surgido por volta do ano 3700, os egípcios que primeiro desenvolveram suportes a partir do caule de uma planta, a *Cyperus papyrus*, de nome popular papiro, abundante as margens do rio Nilo. Do papiro, originou a palavra papel, como conhecido hoje (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A celulose é um biopolímero extensamente estudado pela humanidade por algumas características importantes como, por exemplo, ser renovável e em função de suas propriedades químico/físicas adequadas a diversas finalidades e com crescente utilização (LENGOWSKI *et al.*, 2013). O seguimento de papel e celulose é um conjunto das indústrias: de celulose, de papéis e de artefatos de papéis mais as florestas, e na sua cadeia produtiva a indústria de editoração e gráfica e ainda os segmentos distribuidores vinculados àquelas indústrias constituem a cadeia produtiva da celulose e papel, e em processo de desenvolvimento de objetos como móveis, utensílios, etc. (OLIVEIRA *et al.*, 2018). É fundamental conhecer o posicionamento da empresa e quais os desafios ambientais ela vivencia. A indústria de papel e celulose a qual é abordada aqui, apresenta um potencial de impacto ambiental, seja na fase agrícola, pelo plantio da monocultura e supressão da floresta, na utilização de grandes volumes de água ou pela utilização dos produtos químicos no processo de fabricação da celulose e do papel. A complexidade global, das interações físicas e químicas dos resíduos, torna ainda maiores os desafios para identificação dos pontos fortes e dos pontos fracos, encontrando o que é relevante dentro do processo, sendo tarefa crucial. Nesta dinâmica podem-se considerar os resíduos e subprodutos, como eles são gerados e como são destinados. ((RODRIGUES, 2018; BATISTA, 2019; SOARES, 2018).

A escolha do seguimento industrial se deu em função da crescente demanda de celulose e papel (ABTCP, 2019) conforme informa os dados do setor, onde aponta 220 empresas com atividade em 540 municípios, localizados em 18 Estados do Brasil, gerando 128 mil empregos diretos e 640 mil empregos indiretos. Segundo levantamentos de Marques (2015) o Brasil se tornou o segundo maior exportador de celulose no mundo, vários foram os fatores que culminaram para chegar a este patamar, com as políticas para assegurar as condições institucionais e de infraestrutura. As mudanças na estruturação das empresas mundiais com fusões e aquisições, extrapolando para diversidade de investimento como fundos de pensão, campanhas de seguro e fundos patrimoniais, dando base para a financeiralização da cadeia. O aumento da ocupação do solo também é outro fator, com extensos plantios de eucaliptais, em

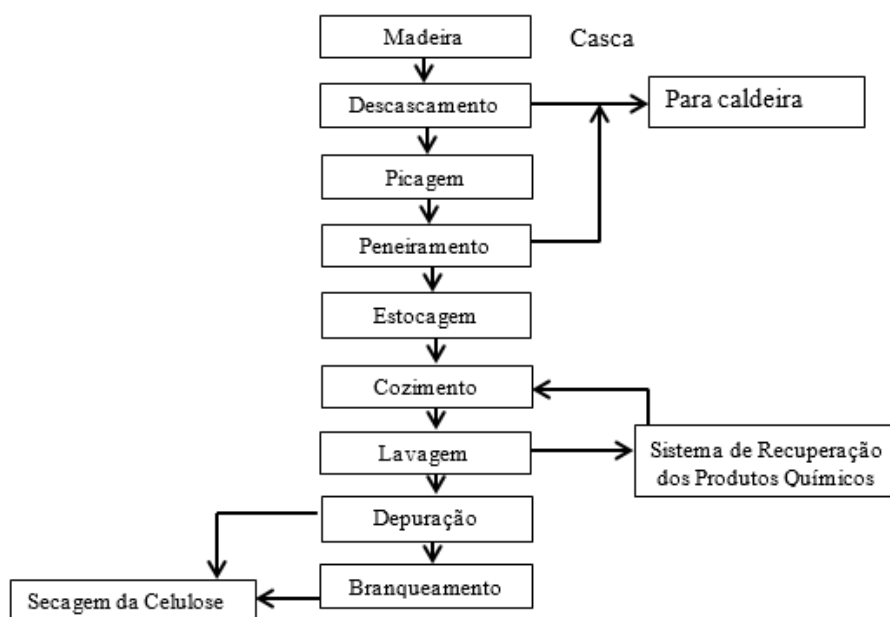
função das condições edafoclimáticas do Brasil tornando as plantações altamente eficientes e produtivas (HORA, 2017).

2.1.1 Processo de produção da indústria de papel e celulose

A madeira é composta de substâncias macromoleculares sendo elas a celulose, a hemicelulose, lignina e polissacarídeos que estão presentes em todas as madeiras, as proporções e composição química da lignina e hemicelulose diferem em coníferas e folhosas, enquanto a celulose é um componente uniforme da madeira. Já a composição química elementar da madeira, é basicamente Carbono (C), o Hidrogênio (H), o Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N), este em pequenas quantidades. Os outros componentes da madeira são definidos como acidentais, sendo substâncias consideradas como não integrantes da parte estrutural da parede celular ou lamela média. Os extrativos que compõem uma extraordinária diversidade de compostos. Sendo que alguns pertencem somente a algumas espécies ou gêneros. Os extrativos ocorrem na casca, folhas e acículas, flores, frutos e sementes (KLOCK, ANDRADE, 2013; SILVA *et al.*, 2015 SOARES *et al.*, 2018).

Para a preparação da polpa de celulose, a madeira tem que passar por desagregação, e independente do processo adotado elas seguem uma sequência definida conforme a Figura 1.

Figura 1. Fluxograma geral de obtenção de celulose e papel.



Para conseguir os componentes, a madeira tem que passar por processos que consiste basicamente na separação das fibras. Na separação das fibras é obtido a pasta celulósica que pode ser preparada por diferentes métodos, seja mecânico, físico, químico, semiquímico ou biotecnológico conforme estão Quadro 1.

Atualmente o processo *kraft* (sulfato) é responsável por mais de 90% na produção de celulose, este processo visa dissolver a lenhina preservando a resistência da fibra para obter uma pasta forte. É utilizado uma solução aquosa de dióxido de enxofre (SO_2), bissulfitos ($\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$) e um excesso de ácido sulfuroso (H_2SO_3). Mais recentemente usam-se também os bissulfitos de magnésio e de amônio, com a finalidade de amenizar as condições agressivas. Nesta etapa a lenhina torna-se solúvel. (FIGUEIREDO, 2018, ALVES *et al.*, 2015).

Na atualidade, técnicas de processamento estão sendo desenvolvidos visando o aproveitamento do alto teor de açúcar no licor preto do processo sulfito, para transformar em etanol por processos fermentativos (PEREIRA, 2016).

Quadro 1. Comparação dos processos de separação dos componentes dos materiais.

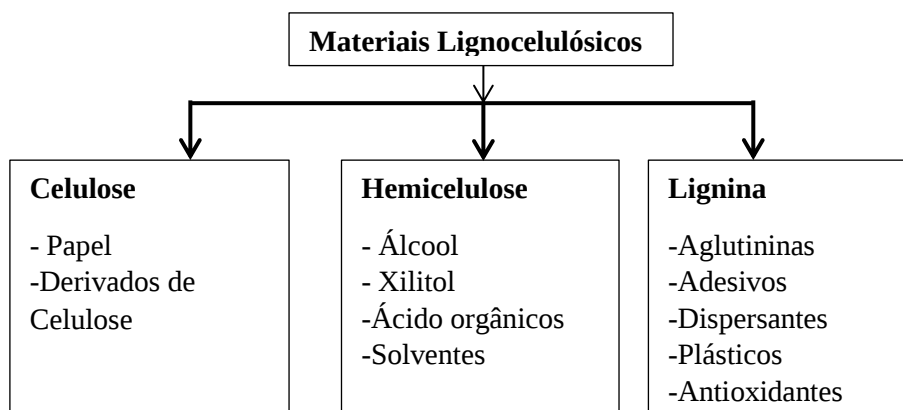
Tipo de Processo	Descrição sucinta do processo	Observações
Mecânico	Utiliza apenas energia mecânica, não envolvendo emprego de reagentes químicos (pasta mecânica – <i>Groundwood</i>))	Rendimento entre 93 a 98%. O papel escurece (envelhece) rápido. Exemplo de uso: jornal, revista, embrulhos, etc.
Físico	a) Irradiação de raios gama b) Tratamento a vapor (tratamento térmico) c) <i>Steam-explosion</i> (aquecimento e rápida descompressão do material)	Rendimento 92 a 95%. Ineficaz, podem provocar reações entre os produtos secundários oriundos da fração hemicelulósica e a complexa lignina-celulose. Efetivo, promove a separação integral dos três componentes poliméricos.
Químico Semiquímico	Utiliza agentes químicos específicos para cozinhar sob pressão, o material. Os processos podem ser basicamente ácidos (sulfito) ou alcalinos (sulfato e Soda / <i>Kraft</i>)	Rendimento 60 a 90% (semiquímico) Rendimento <i>Kraft</i> 50 a 60% (pasta forte). Fibras com boa resistência. Efetivo. Plenamente empregado na indústria de celulose e papel, tendo

		como desvantagem, a formação de resíduos altamente poluidores.
Biотecnológico	Utiliza a ação de micro-organismos selecionados capazes de promover a deslignificação dos materiais lignocelulósicos.	Parcialmente efetivo. Necessita de processos complementares de deslignificação, devido à baixa velocidade de degradação do material (períodos da ordem de 4 meses). Processo ainda em fase experimental.

Fonte: Adaptado de CASTRO, 2009.

Para cada uso da celulose são empregados um processo e uma classificação das fibras, vai depender da utilização dos processos de cada indústria e do uso que vai ser dado, mas de maneira geral existem três componentes extraídos que estão elencados na Figura 2 e podem ser utilizados.

Figura 2. Usos aplicáveis da lignocelulose.



Fonte: Adaptado de CASTRO, 2009.

- Pasta mecânica: resistência física reduzida, baixo custo, boa capacidade de impressão e alta opacidade.
- Celulose semi-química: têm características bem variáveis de processo para processo.
- Celulose sulfato/*Kraft*: apresenta características escuras, opaca e bastante resistente.

2.1.2 Resíduos e subprodutos

A definição de resíduo ao longo dos anos tem sido de fundamental importância para a busca da proteção ambiental, quando nomeado e classificado pode-se ter uma dimensão do nível de impacto causado por ele. Para esta pesquisa estabeleceu-se resíduo como quaisquer emissões geradas por atividades produtivas. Para os subprodutos quaisquer emissões que provenha de atividade produtiva com a finalidade de produção e deve atender as condições de: a) certeza de posterior utilização ou comercialização; b) utilidade direta, sem outro processamento ou outra prática industrial normal; c) emissão como parte integrante de um processo produtivo; e d) emissão que cumpram os requisitos como produto em matéria ambiental e proteção da saúde e não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica (APA, 2015). Os resíduos seguem a classificação consistente na divisão de classe conforme norma NBR 10.004:2004 para um adequado gerenciamento que define resíduos como restos das atividades humanas, que são considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis pelo gerador, seu estado pode ser sólido, semissólido ou líquido, que não seja possível seu tratamento de forma convencional.

A classificação é definida da seguinte forma:

Classe I ou perigoso: quanto suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, com risco a saúde pública, ou ainda provoquem efeitos adversos ao meio ambiente, no seu manuseio e disposição inadequada.

Classe II ou não inertes: que venha a ter características de combustividade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos ao meio ambiente, e que não se enquadra na Classificação I e na Classificação III.

Classe III ou inerte: que não ofereçam riscos à saúde e ao meio ambiente e que seus constituintes solubilizados não ultrapassem os padrões de potabilidade das águas.

Os resíduos sólidos são classificados em função do seu risco de potencial contaminação ao meio ambiente conforme classificação I, II e III da NBR 10.004 da ABNT. Na indústria de papel e celulose, os resíduos são tidos como não-perigosos (classe III), mas há de se considerar a quantidade e a variabilidade. Como o Brasil apresenta um lugar de destaque na produção mundial deve-se observar sua geração de resíduos, pois é proporcional a sua produção de celulose. Esta circunstância tem culminado na busca por soluções com uma longa trajetória de estudo para reduzir, reciclar e reutilizar os resíduos destas atividades, buscando atender os requisitos legais e de certificações, por razões ambientais, econômicas e sociais. (MIRANDA, 2008; SOARES, 2018).

De acordo com o IBÁ (2020) a indústria de papel e celulose no Brasil faz uma gestão onde 98% dos resíduos sólidos das atividades florestais são mantidos no campo para proteção do solo e adubação; 63% dos resíduos das atividades industriais são destinados à geração de energia, eliminando a utilização de combustível fóssil e 29% dos resíduos da produção de serrados (cavacos e serragem) e aparas de papel são reutilizados como matéria-prima em empresas do setor, demonstrado que quanto mais eficiente for o processo, menor é a quantidade de resíduos gerados por tonelada de celulose ou papel produzido.

2.2 Avaliação De Desempenho Ambiental – ADA

Em pesquisa na base de dados Scopus com o tema “avaliação de desempenho ambiental” o volume de documentos registrados foi de 35,319. Na análise de documentos o tema aparece com um tímido crescimento a partir de 1992 e desde então as pesquisas foram crescentes. Se percebe a busca por conhecer cada vez mais como direcionar as ações, com critérios embasados em pesquisas, demonstrando a importância de elucidar cada vez mais as nuances das atividades antrópicas, usando um processo de avaliação de desempenho ambiental – ADA (SCOPUS, 2020).

A utilização da mensuração e avaliação de desempenho ambiental apontada por Janott *et al.* (2018), é buscar as especificidades de cada segmento com uma estruturação, formulação, avaliação e recomendações, com destaque para os constructos, aplicando os indicadores que se referem aos aspectos e os impactos ambientais. Com isto o processo de desenvolvimento de um método é mais consistente e preciso, para avaliar os resultados após a implantação de novas tecnologias, ou na mensuração de desempenho ambiental, observada a complexidade do fenômeno e a concomitante capacidade do método em oferecer subsídios para orientar os formuladores de legislação. Avaliação de desempenho ambiental é uma medida que descreve como uma organização com atividades antrópica gerencia sua relação com o ambiente. Embora haja como variável a percepção e o julgamento do especialista que pode ser um ponto de restrição e as medidas serem do tipo probabilístico (GUIMARÃES, 2017; SELLITTO *et al.*, 2010; REIS e SELLITTO, 2015).

A inquietação por melhorias na avaliação do desempenho ambiental, pode ser obtida conhecendo os potenciais impactos referente as atividades e as organizações têm inserido como parte de seu sistema o fator de avaliação de desempenho ambiental que combinado com a gestão, culminam para sua performance estratégica de crescimento. O que se tem discutido é

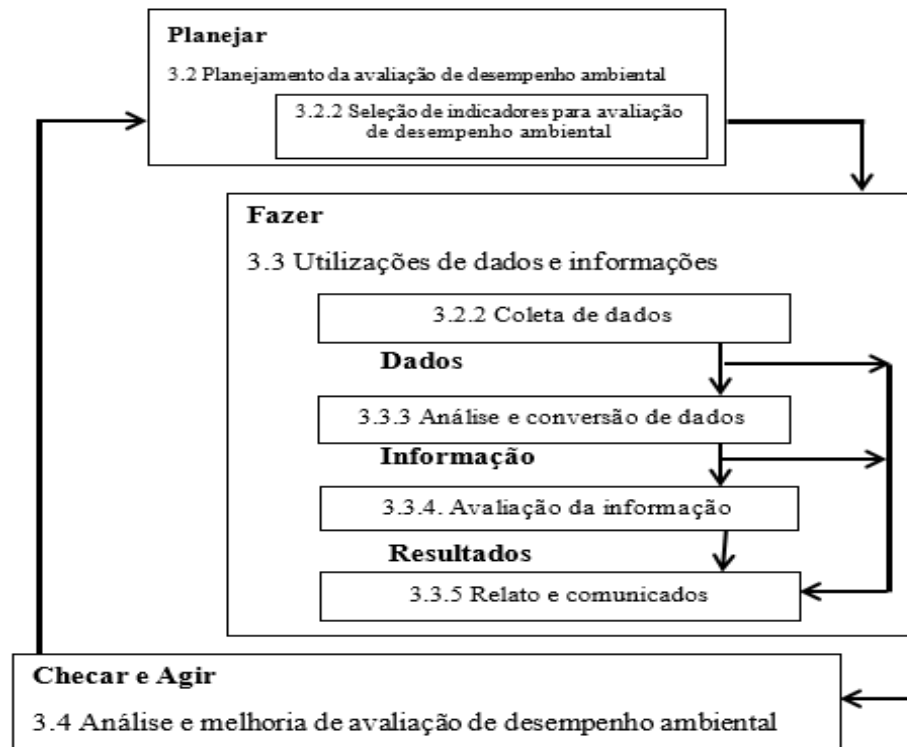
como chegar a resultados mais precisos das ações praticadas pelas empresas. Os métodos de avaliação de desempenho ambiental e os indicadores de acordo com Janott *et al.* (2018) tem se mostrado premissas relevantes nesta trajetória (ABNT, 2004; DONAIRE, 1999).

Para um ambiente se tornar passível de ser avaliado no seu desempenho ambiental, deve-se ter como parâmetro o seu impacto. Diante disto o impacto ambiental é definido pela ISO – 14031 como sendo qualquer modificação do meio, adverso ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte das atividades, produtos ou serviços de uma organização e estabelecido como responsabilidade efetiva na Resolução CONAMA, onde no seu artigo primeiro e incisos de um a cinco, integra todas as ações do ambiente e das atividades humanas (CONAMA 01, 1986).

O contexto da avaliação de desempenho ambiental pode até ter começado fragmentado com foco específico, mas hoje diz respeito a todos. É importante que se saiba melhor do ambiente, para ter a possibilidade de corrigir os equívocos (PIGA *et al.*, 2015). O crescimento da civilização está vinculado diretamente à ecologia, e o desempenho ambiental já é capaz de refletir de forma abrangente esta interação ao nível real, portanto a implantação de avaliação de desempenho ambiental, afeta positivamente este processo, trazendo resultados benéficos ao meio ambiente. A organização tem que avaliar o desempenho ambiental observando o maior número de variáveis possíveis, com uma visão holística (DENG *et al.*, 2019).

Na trajetória pelo conhecimento a norma ISO 14031, coloca que os elementos das atividades sejam elas produção ou de serviços podem ser melhor geridas e causarem menores impactos ao meio ambiente. A norma se apresenta como uma ferramenta de gestão interna, desde o planejamento com um processo contínuo de informações confiáveis e verificáveis (ABNT, 2004). A aplicação da avaliação de desempenho ambiental - ADA indica uma diretriz para ser seguida pelas organizações, aonde ela possa vir a compreender seus processos, e com isto fazer uma análise crítica, para melhorias. O modelo apresentado é baseado no ciclo PDCA (LOUREIRO, 2014) conforme Figura 3 (ABNT, 2014).

Figura 3. Avaliação de desempenho ambiental.



Fonte: ABNT (2004).

Com a aplicação das orientações descritas na Figura 2, da ADA obtém-se o processo contínuo podendo ser utilizado amplamente. E tendo como ponto favorável o elevado consenso internacional representando uma linguagem que elimina barreiras comerciais (LOUREIRO, 2014). A estrutura também se apresenta como base para muitos estudos, onde faz interação com teoria empírica, ou redefinindo a incorporação de novos mecanismos, recebendo assim novos contornos e reafirmando sua importância (MARUTA, 2012; GUO *et al.*, 2018; MAAS e RENIERS, 2014).

Com o processo de checagem contínua, e o tratamento adequado dos dados, fica mais visível qualquer fuga dos parâmetros requeridos no processo de avaliação de desempenho ambiental, obtendo-se uma fotografia da realidade (SELLITO, 2010). Uma questão a ser considerada é quanto à periodicidade das análises de dados no processo de avaliação, a inobservância da análise pode comprometer a avaliação se não forem realizadas em tempo hábil, para isto deve-se estabelecer critérios e metas com registros dos processos de mitigação ou correção. A estruturação dos procedimentos se tornam concisos, sistemáticos e fundamentados em dados reais, podendo ser utilizados supervisionados e gerenciados (COSTA, 2010).

2.3 Métodos E Ferramentas Para A Avaliação Do Desempenho Ambiental

O momento que se vivencia traz uma confluência de possibilidades, já descritas por Odum (1988) onde a ciência dispõe de instrumentos formais como teorias matemáticas, processamento eletrônico de dados, dentre outras possibilidades, proporcionando uma simplificação de complexas problemas ambientais do homem. Fica evidente que a construção de sistemas estruturados para análise deixa de ser resolvida com ensaios e erros, e passa a outro patamar o de ter uma solução própria para cada problema, através dos métodos e ferramentas. Embora todas estas possibilidades não devam ser tomadas como única alternativa, mas devem exercer uma função que faça parte do processo, seja na avaliação ou na sua operacionalização (KEMERICH *et al.*, 2014). Dentro deste processo da ADA têm-se várias maneiras pelas quais as organizações podem realizar a captação dos dados e suas respectivas medições e análises.

A constituição de 1988 no seu artigo 225, traz definições para o meio ambiente equilibrado, juntamente com decretos, resoluções, portarias, normas para serem aplicadas às organizações de qualquer natureza onde define muitos parâmetros, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305, tida como avanço para a preservação ambiental (BRASIL, 1988). Sendo apenas parte das questões a serem estruturadas para se aprofundar num plano estratégico de mensuração para melhorias (DONAIRE, 1999).

Há ainda outras identificações apropriadas a se respeitar, como o tamanho da organização, sua localização, o custo-benefício, ramo de atividade e sua categoria (BATISTA, 2019). Considera-se todas as circunstâncias que possam auxiliar nesta construção (ABNT, 2004). A correta operacionalização e adequação das ferramentas e dos métodos de avaliação de desempenho ambiental devem ser compatibilizadas com os objetivos das organizações dependentes dos dados disponíveis e da magnitude das incertezas. Os métodos operacionais que geram as métricas podem ser usados de forma segura pelas organizações (DONAIRE, 1999; GROEN, *et al.*, 2016; RYBERG *et al.*, 2018).

Dentro deste contexto a avaliação de desempenho ambiental torna-se ferramenta que auxilia a gestores e a empresas em seu planejamento, pois analisa os parâmetros de entrada e quantifica os impactos ambientais, desde o seu início até o final da utilização (GROEN *et al.*, 2016 e BARROS *et al.*, 2019). Este estudo vai ser aplicado ao processo de produção, o critério de corte se dá em função da significância ambiental, que são todas as matérias-primas de entrada para produção de celulose e papel associados aos processos de transformação até o produto final, de papel e celulose. Os requisitos de base para condução do estudo são compostos por quatro fases na definição do escopo sendo elas: análise de inventário, a avaliação de impactos

e a fase de interpretação. Para aplicação do estudo a técnica a ser utilizada ou a metodologia não é detalhada pela ABNT 14040 (2009).

Muitos são os estudos dos métodos para guiar na escolha que traga maior elucidação de que método usar em função dos princípios tecnológicos e científicos visando a necessidade do desenvolvimento de um índice que faça avaliação ambiental dos processos de produção (FURTADO, 2014; MENDES *et. al.*, 2016). No levantamento com os termos da pesquisa “Avaliação de desempenho ambiental – ADA”, Métodos e ferramentas para a avaliação do desempenho ambiental” e “Indicadores de desempenho ambiental” os métodos mais recorrentes foram CML 2002, Eco-indicator 99, EDIP, EPS 2000, Impact 2002+, LIME, LUCAS, MEEuP, World+, TRACI, USEtox e o ReCiPe. No estudo de Mendes *et al.* (2016) foram levantados os métodos mais utilizados com a descrição de suas respectivas características, suas categorias tradicionais e as categorias diferenciadas e a sua importância no processo, sendo eles:

2.3.1 CML

CML ou Dutch Handebol, realiza estudo passo a passo de ACV, o nível de avaliação de impacto é *midpoint*. A aplicação é global, exceto para as categorias de impacto, acidificação e formação de foto-oxidantes, que apresenta escopo de aplicação direcionado para a Europa. Quanto as categorias tradicionais abordadas por este método são depleção de recursos abióticos, depleção de recursos bióticos, uso da terra, mudança climática, depleção do ozônio estratosférico, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática (água doce), ecotoxicidade aquática (marinha), ecotoxicidade terrestre, formação de foto-oxidantes, acidificação, eutrofização. As categorias que se diferenciam são perda de função de suporte à vida, perda de biodiversidade, ecotoxicidade em água doce (sedimentos), ecotoxicidade marinha (sedimentos), impactos da radiação ionizante, mau cheiro do ar, barulho, calor residual, acidentes, letais, não letais, dessecação, mau cheiro da água.

2.3.2 Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 visa simplificar a interpretação e ponderação dos resultados da ACV, o nível de avaliação é *endpoint*, sua abrangência é global. As categorias de impactos tradicionais são mudança climática, depleção da camada de ozônio, acidificação e eutrofização combinadas, ecotoxicidade, uso da terra, recursos minerais e recursos fósseis, já as categorias de impactos

diferenciadas são os carcinogênicos, inaláveis orgânicos, inaláveis inorgânicos e as radiações não ionizantes.

2.3.3 EDIP

O método EDIP 1997- EDIP 2003 (*Environmental Design of Industrial Products*), seu desenvolvimento se deu na Dinamarca foi financiado pelo ministério do meio ambiente (Wenzel *et al.*, 1997) o EDIP 2003 veio suceder o EDIP 1997, com novo formato e inclui a avaliação de exposição como informações regionais de AICV de categorias não globais (Joint Research Centre, 2010). A abrangência do método é *midpoint* e apoia análises ambientais durante o desenvolvimento de produtos industriais e fornece fatores de caracterização especialmente diferenciados.

Para as categorias de impactos tradicionais do EDIP 1997 são aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico, toxicidade humana, ecotoxicidade e consumo de recursos. Quanto o diferencial da categoria deste método está o ambiente de trabalho ((Wenzel *et al.*, 1997). Para o EDIP 2003 tem-se como categorias tradicionais o aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, eutrofização terrestre, eutrofização aquática, formação de ozônio fotoquímico, toxicidade humana, ecotoxicidade e a categoria com diferencial se apresenta com o barulho. O aperfeiçoamento se deu com o esforço de incluir a modelagem de dispersão da substância e da diferenciação espacial em relação à emissão e ao meio receptor (WENZEL *et al.*, 1997).

2.3.4 EPS

EPS 2000, ajuda os desenvolvedores no designer de produtos e na escolha entre dois conceitos de produto, seu nível de avaliação de impacto é *endpoint*. As categorias tradicionais são saúde humana, consumo de recursos naturais, esgotamento de reservas fósseis (gás, petróleo, carvão) e esgotamento de reservas minerais. O que esse diferencia nas categorias incluem expectativa de vida, morbidade grave e sofrimento, morbidade, incômodo grave, incômodo, ambiente natural, capacidade de produção agrícola, capacidade de produção de madeira, capacidade de produção de madeira e carne, capacidade de cátions de base, capacidade de produção de água potável e parcela extinta de espécies.

e) Impact 2002+, propõe avaliação combinada *midpoint/endpoint* ligando todos os tipos de resultados do inventário. As categorias abordadas tradicionalmente neste método são a

toxicidade humana, depleção de ozônio, formação de ozônio fotoquímico, ecotoxicidade aquática, ecotoxicidade terrestre, acidificação aquática, eutrofização aquática, acidificação e eutrofização terrestre, ocupação do solo, aquecimento global, uso de energia não renovável, extração mineral e na classe de diferenciação estão os efeitos respiratórios e a radiação ionizante (JOINT RESEARCH CENTRE, 2010).

2.3.5 LIME

LIME, visa quantificar os impactos ambientais associados às cargas ambientais no Japão com maior precisão e transparência, além de aborda danos associados ao ambiente artificial; quanto ao nível de avaliação de impacto ele é considerado combinado *midpoint/endpoint*. No qual se refere as categorias aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade, acidificação, eutrofização, formação de oxidantes fotoquímicos, uso da terra, consumo de minerais, de energia e de recursos bióticos, já o que se apresenta como diferencial nesta categoria são a poluição do ar urbano, poluição do ar interior, geração de ruídos, estresse térmico, malária, doenças infecciosas, fome e desastres naturais, catarata, câncer de pele, outro câncer, deficiência respiratória, biodiversidade (terrestre e aquática), plantas, bentos, pesca, colheita e materiais.

2.3.6 LUCAS

No método LUCAS, foi desenvolvido com o objetivo de fornecer metodologia adaptada ao contexto canadense. Esse método é uma adaptação para modelos de métodos já existentes; *midpoint* é o nível de avaliação de impacto para este método. Para as categorias tradicionais foram contempladas as mudanças climáticas, depleção de ozônio, acidificação, neblina fotoquímica (*smog*), eutrofização aquática, eutrofização terrestre, ecotoxicidade (aquática e terrestre), toxicidade humana, uso da terra, destruição de recursos abióticos, e na categoria de impacto diferencial os que se apresenta são os efeitos respiratórios.

2.3.7 MEEuP

MEEuP (Methodology study for Eco-design of Energy-using Products), avalia quais e em que medidas diversos produtos consumidores de energia cumprem determinados critérios que os tornam elegíveis para rotulagem CE (sob aplicação de medidas previstas na Diretiva

2005/32/CE); o nível de avaliação neste método é o *midpoint*. Para as categorias tradicionais são considerados os impactos do consumo total de energia bruta, consumo de eletricidade, consumo de água (processos), consumo de água para resfriamento, aquecimento global, destruição do ozônio estratosférico, acidificação, toxicidade humana, formação de partículas e eutrofização aquática, já no que se refere a impactos diferenciais do método são os resíduos sólidos perigosos, resíduos não perigosos, emissão de poluentes orgânicos persistentes, emissão de compostos orgânicos voláteis, emissão de metais pesados (ar), emissão de metais pesados (água) (JOINT RESEARCH CENTRE, 2010; KEMNA *et al.*, 2005).

2.3.8 Word +

World+, avaliação de impacto regionalizada cobrindo todas as regiões do mundo com fatores de caracterização para diferentes resoluções geográficas, definida em torno dos parâmetros de modelagem mais sensíveis como bacias para impactos de uso da água ou biomas para impactos de uso da terra. Neste método o nível de impacto é considerado o combinado *midpoint/endpoint*. Para as categorias de impacto tradicionais foram elencadas a toxicidade humana, oxidação fotoquímica, depleção da camada de ozônio, aquecimento global, ecotoxicidade, acidificação, eutrofização, uso da água, uso da terra e de uso de recursos (IMPACT World+, 2012).

2.3.9 TRACI

TRACI (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts*), originalmente projetado para uso na ACV, e expectativa de prevenção da poluição e considera as condições ambientais dos Estados Unidos e o nível considerado neste método é o *midpoint*. Para a avaliação de impacto as categorias consideradas neste método foram as: depleção de ozônio, aquecimento global, formação de fumaça (*smog*), acidificação, eutrofização, saúde humana (carcinogênicos), saúde humana (não carcinogênicos), saúde humana (poluentes), ecotoxicidade, esgotamento de combustíveis fósseis, uso da terra e uso da água, para este método não foi apresentado uma categoria de impacto diferenciada (BARE, 2002; BARE *et al.*, 2003; United Nations Environment Programme, 2010).

2.3.10 USEtox

USEtox, foi projetado para descrever destino, exposição e efeitos de produtos químicos, fornecendo fatores de caracterização recomendados para a toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce na avaliação de impacto do ciclo de vida (JOINT RESEARCH CENTRE, 2010; HUIJBREGTS *et al.*, 2010).

2.3.11 ReCiPe

ReCiPe, é uma continuação dos métodos Eco indicador 99 e CML 2000 que integra e harmoniza as abordagens combinadas de *midpoint* e *endpoint* em uma estrutura comum e consistente. É um método que aborda como categorias de impactos tradicionais as alterações climáticas, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização (água doce e marinha), toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade (terrestre, água doce, marinha), uso do solo agrícola, uso do solo urbano, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos minerais, esgotamento de recursos de água doce, e para as categorias de impacto diferencial têm-se a radiação ionizante e as transformações da terra natural sendo consideradas (GOEDKOOP *et al.*, 2009).

No desenvolvimento desta pesquisa o método escolhido foi o ReCiPe, justamente em função de vir se atualizando dos métodos Eco indicador 99 e CML 2000 para o método ReCiPe 2006 para o ReCiPe 2008 e que busca acompanhar as transformações ambientais. Outro ponto observado para a escolha foi por ele fornecer fatores de caracterização que são representativos para escala global, e assim manter uma série de categorias com possibilidade de implantar fatores em escala nacional e continental. A integração que harmoniza as abordagens de *midpoint* e *endpoint*, dentro do entendimento das categorias vão de encontro com a abrangência e a complexidade do setor aqui pesquisado, ele apresenta consistência no desenvolvimento e no aprimoramento, o que ainda foi mais relevante na definição do método foi por ele trabalhar com o mesmo horizonte de tempo por perspectiva cultural nas várias categorias de impacto (GOESDKOOP *et al.*, 2009).

Um fator que deve ser definido na escolha do método é o ponto de harmonização que pode ser *midpoint* ou *endpoint*. Na caracterização do *midpoint* vai se estabelecer uma leitura ao longo do mecanismo ambiental, que se dá pelas interações dos processos físicos, químicos e biológicos para uma dada categoria de impacto, vinculando os resultados da análise do inventário do ciclo de vida aos indicadores de categoria e aos pontos finais das categorias. Para o ponto final (*endpoint*) da categoria, tem como relevância os aspectos do ambiente natural, a saúde humana ou o que for merecedor de atenção mais específica (ABNT 14044, 2009).

Todos os métodos apresentam as categorias de impactos, mas o que tem ocorrido é uma combinação das categorias *midpoint* e *endpoint*. O fato se deve ao intuito de aprimorar os métodos e eliminar as subjetividades na trajetória da avaliação de nível médio. Embora conforme abordado por Sellito e Antonov (2011) sejam diversas as fontes de medição de desempenho ambiental que tenham surgido, mas nenhuma despontou como metodologia dominante e que seja reconhecida para aplicação geral, por serem muitas as lacunas. Para Mendes *et al.* (2016) a comparação considera também que variando o método utilizado, varia também a contribuição para o impacto ambiental e aponta como lacuna a própria ausência de comparação de métodos e que o foco está mais voltado para análise de produtos e não tanto na avaliação de design de processos alternativos. Isto se dá em função de cada método apresentar um escopo de aplicação, com uma finalidade na avaliação ambiental (MENDES *et al.*, 2016). Em um estudo com cinco métodos diferentes para analisar os parâmetros de entrada para quantificar o impacto ambiental na avaliação do ciclo de vida - ACV foi obtido um bom resultado especialmente para incertezas de entrada relativamente pequenas, se mostrando importante a comparação dos métodos para análise de sensibilidade global na avaliação do ciclo de vida, com foco no estágio de inventário (GROEN *et al.*, 2016).

Com tudo a utilização de processos de medição se mostra muito valiosa quando comparado a estudo de países em desenvolvimento, aonde as práticas não evoluíram e os dirigentes não conseguem ter a dimensão dos danos ambientais dos processos obsoletos. Foram constatadas esta miopia em uma grande economia como a Índia, que selecionou um conjunto de seguimentos tidos como poluidores, as indústrias de ferro e aço, cimento, celulose e papel, couro e produtos farmacêuticos, a pesquisa verificou que são poucas as práticas de prevenção da poluição e que com poucas mudanças podem melhorar significativamente, o meio ambiente. O que fica deste estudo é a relevante necessidade de medir e se ter ferramentas para fazê-las, pois só se passa a conhecer o nível de deterioração ambiental quanto tem uma estruturação sistemática para poder mensurar estes danos (BASU *et al.*, 2018).

Um dos critérios considerados relevantes na aplicação de uma metodologia é o julgamento dado pelos gestores, em função do atendimento as suas necessidades, pressões de mercado e o entendimento pessoal baseado nos seus princípios e cultura. Quando a gestão ambiental é inserida como mais um indicador de resultados no desempenho da organização, com a destinação correta dos resíduos gerados, tem-se um retorno diretamente proporcional, para sua eficiência (REBELATO *et al.*, 2017).

Um cuidado a ser tomado ao realizar avaliação de impacto é a dupla contagem, apontada como causas conflitantes, podendo ter um incremento de 20 a 30% na estimativa dos impactos,

mas se o foco for apenas nos impactos diretos pode ter subestimadas distorções que precisam ser consideradas, para se obter resultados fidedignos, efetivando as perspectivas de rastreabilidade da avaliação a montante e a jusante do processo (CABERNARD *et al.*, 2019).

No estudo de Guimarães (2017) comprovou-se a importância de fazer a avaliação ambiental, mostrando que quando se lança um olhar mais cuidadoso para os dados, os resultados podem ser promissores, e com as tecnologias disponíveis é possível fazer adaptações que não dispõem de tantos recursos, e se obter bons resultados. Tem-se outro exemplo comprovado no estudo de medição dos benefícios da modernização de uma fábrica de materiais de embalagem de celulose: cartão dobrável e papel *Kraftliner*, com resultados evidentes de redução dos impactos ambientais, que utilizou os métodos de avaliação do ciclo de vida (berço-a-portão) e o Eco- indicador 99 (MOURAD *et al.*, 2014).

Embora Sellitto *et al.* (2010) aponta como restrição o julgamento de especialista devido ao seu critério probabilístico, mesmo com o uso de medições físicas e considerações estatísticas, ele estabelece como importância definitiva a priorização de indicadores e componentes principais destes indicadores dentro do processo, e que seja estendido ao longo da cadeia para o setor de serviço, com o intuito de identificar os pontos frágeis do desempenho ambiental, com a finalidade de se obter base suficiente para implantação de manutenção de produção mais limpas e ecodesign em manufatura.

Quando se trata de decisões complexas e simultâneas, vários critérios podem ser necessários para uma escolha final entre diferentes alternativas, diante destas necessidades no estudo de Rosén *et al.* (2015) percebeu-se no método multicritério, uma base capaz de fornecer abrangência e transparência nos processos de avaliação de desempenho ambiental, por reconhecer a exigência de várias questões como definição dos limites da avaliação e escalas de desempenho, tanto temporais quanto espaciais. Sendo uma seleção de critérios relevantes (indicadores) que facilitam uma avaliação abrangente, evitando a dupla contagem de efeitos e o tratamento de incertezas, como critérios-chaves, para os domínios da sustentabilidade econômica, social e ambiental. Para análise os métodos padronizam uma modelagem matemática tornando visível as questões para o decisor (BELDERRAIN e SILVA, 2005).

No entanto, Baudry *et al.* (2018) também ressalta a popularização do método de decisão multicritério atende a problemas de demandas sociais, econômicas, objetivos legais, técnicos e ambientais, mas deve-se ter cautela na elaboração de uma modelagem genérica de multicritério, que existe a necessidade de uma adaptação aos problemas que se quer resolver e um ponto a ser observado são as semelhanças e o contexto da utilização do método, e deve-se buscar a isenção na análise das incertezas e dos critérios.

Conforme Belton e Stewart (2002) o método multicritério considera fundamentos e critérios que permitem a pesquisadores, estudantes e profissionais da indústria, implementação de maneira informada; aplicando conhecimento suficiente de teorias subjacentes, podendo definir claramente os contornos da avaliação ambiental, para uma amplitude íntegra e equilibrada das diferentes dimensões da sustentabilidade eliminando as hipóteses irrealistas e escolhas subjetivas, com desenvolvimento de estrutura para inclusão de análise de incertezas, e a possibilidade de discussão entre as partes (DE LUCA *et al.*, 2017).

Na pesquisa de De Luca *et al.* (2017) traz resultados que mostraram como o interesse nessa hibridação de métodos vem crescendo nos últimos anos, e voltados para os setores agrícolas e florestais. Nesta trajetória de decisão multicritério o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) traz uma melhor priorização das medições dos indicadores, tendo uma maneira organizada e profunda de tomar decisões e coletar informações relevantes. O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é usado em várias configurações para decisões, que utilizam como entradas objetivos, critérios e alternativas para a tomada de decisão. O objetivo é o foco principal, nos critérios o foco é buscar o máximo possível de precisão do que se pretende atingir podendo criar níveis de subcritérios para que não fique preterida do processo nenhuma possibilidade, quanto as alternativas podem ser classificadas como um conjunto que se apresenta de acordo com os apontamentos da avaliação do desempenho ambiental (SAATY, 2008), e que neste estudo desenvolvido compôs a tomada de decisão. O método AHP conta com variações uma delas é o método IAHP *Improved Analytic Hierarch Process*, idealizado para estabelecer uma medida única dentro de um percentual e para ser aplicado na tomada de decisão em um processo de avaliação de desempenho ambiental, sendo aplicado como ferramenta matemática para proporcionar a ponderação dos resíduos/subprodutos por exemplo no setor sucroalcooleiro (REBELATO *et al.*, 2019).

2.3. Indicadores De Desempenho Ambiental

O uso de indicadores ambientais tem se mostrado uma alternativa importante na identificação do potencial de impacto ambiental, pois pode medir um produto ou uma gama de produtos, e toda a cadeia de uma organização, o objetivo é tarefa essencial para um processo de identificação bem-sucedido para se chegar a indicadores de desempenho ambiental eficiente. Um ponto que se concluiu é a relevância da sistematização dos indicadores de desempenho ambiental. (ISSA *et al.*, 2015). Isto vai de encontro com a afirmação de Andrade *et al.* (2013)

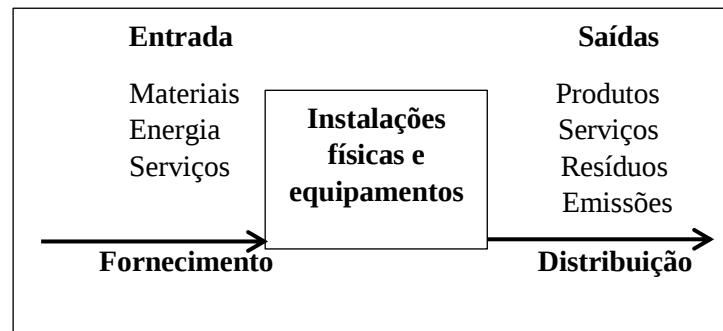
que não se pode gerir o que não é medido. Ou ainda com Delai e Takahashi (2008) que só é possível ter sustentabilidade nas decisões organizacionais se puder ser medido. Essa mensuração pode ser feita por meio de índices ou conjunto de indicadores. De acordo com Batalhão (2015), o processo empregado define as variáveis mais críticas podendo levar a aprimoramento e reformulações positivas ao equilíbrio ambiental.

Os indicadores ou índice de desempenho ambiental são definidos como um processo específico para fornecer informações tanto qualitativas como quantitativas, que a partir daí devem ser traduzidos em melhorias operacionais, com estabelecimento de metas detalhadas e exequíveis de acordo com cada etapa de crescimento da organização (ABNT, 2004). Com este processo vai-se de encontro com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas – ONU (ONU, 2015). Deve-se nesta construção de uma identidade ambiental considerar as partes interessadas, que inclui todos os grupos afetados, o meio ambiente natural, o desenvolvimento social e o econômico (ABNT, 2004).

Quando se tem um padrão para realizar uma medição, os resultados podem ser melhor atingidos possibilitando uma visão ampla das interações (RYBERG *et al.*, 2018). O objetivo não é criar um “padrão ouro” aplicável a todas as situações (GOEDKOOOP *et al.*, 2013). Mas os índices trazem uma contribuição para este entendimento principalmente com a urgência da qual se necessita (LEMKE e BASTINI, 2019).

A observação na identificação dos aspectos ambientais como na Figura 4, ou com escala e natureza do uso dos materiais e energia, emissões, riscos, condições do meio ambiente, juntamente com indicador de desempenho operacional - IDO, pode-se trazer um cenário possível, para descrever o desempenho ambiental da organização, podendo ser abrangente e aplicável de maneira significativa a diferentes níveis com compreensão aprimorada das interações dos elementos individuais para o desenvolvimento sustentável (LEMKE e BASTINI, 2019). Depois de se fazer uma leitura das condições ambientais, é possível dar um destino mais favorável ao meio ambiente e ao objeto pretendido, mesmo em situações complexas. Sendo muitas as possibilidades que se apresentam, tem-se que buscar a mais adequada para a organização.

Figura 4. Operações de uma organização (visão geral).



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004).

É imprescindível que as organizações se pautem pela seleção de indicadores, como forma de monitorar e obter dados e informações que retratem a natureza e a escala integradora das operações da organização, sendo esta escolha fundamental no esforço de melhorias das dimensões sociais, ambientais e econômicas, para a consolidação de uma sociedade com desenvolvimento ambientalmente seguro. A mensuração por indicadores de desempenho ambiental é frequentemente citada como fator bem-sucedido, pois permite estabelecer metas e monitorar ações, embora ainda enfrentem dificuldades na seleção e aplicação de indicadores de desempenho ambiental – o que se nota é a falta de uma abordagem mais estruturada (KEMERICH *et al.*, 2014; ISSA *et al.*, 2015).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo está apresentada a metodologia que foi desenvolvida em etapas, para a construção do índice, que calcula entre 0 e 100% para avaliar o desempenho ambiental. Como este estudo é um entendimento de um fenômeno e o propósito é elucidá-lo, para melhor explicar e descrever este evento, foi definido como sendo qualitativo com um viés quantitativo que de acordo com Godoy (1995), Freitas e Jabbour (2011) fazendo esta interação dos métodos têm-se maior robustez e clareza para atender o objetivo traçado.

Para concepção desta dissertação foi definido como propósito desenvolver um índice para avaliar o potencial de impacto a partir de uma análise de desempenho ambiental, dos resíduos e subprodutos gerados na produção de papel e celulose. O quadro 2, ilustra as etapas de construção seguidas no processo para o desenvolvimento do índice de maneira linear seguindo as etapas até a finalização. Em cada etapa está descrito o processo que foi seguido para se obter os resultados.

Quadro 2. Etapas da metodologia.

Etapa 1	Contexto da empresa.
Etapa1.1	Mapeamentos do processo de produção.
Etapa 1.2	Identificação dos resíduos/subprodutos e dos respectivos volumes.
Etapa 1.3	Identificação aproximada da composição química dos resíduos e subprodutos.
Etapa 2	Categorização dos Impactos conforme método ReCiPe.
Etapa 2.1	Cálculo do impacto potencial em cada resíduo e subproduto.
Etapa 2.2	Normalizações do potencial de impacto.
Etapa 2.3	Ponderação relativa entre os potenciais impactos.
Etapa 3	Desenvolvimento do índice.
Etapa 4	Aplicação do índice.

Fonte: Autora (2020).

Etapa 1 - Contexto da empresa: na etapa 1 contexto da empresa, o objetivo foi descrever que produto é produzido pela empresa sua atuação no cenário nacional, a quantidade de colaboradores diretos que a empresa emprega, o ano de exercício da coleta de dados utilizado para ser utilizado na dissertação, a localização geográfica da indústria e o ano de início das suas atividades, sua capacidade de produção.

Etapa 1.1 – Mapeamentos do processo de produção: na etapa do mapeamento do processo de produção o objetivo foi descrever cada etapa do processo de produção, iniciando com a chegada da madeira (matéria-prima) no portão e as etapas subsequentes, detalhando como são realizadas as entradas dos produtos para a realização de cada etapa dos processos e como seguiu os produtos depois dos processos de transformação realizados para produção da madeira em produto, pode ser definido como um mapeamento realizado de portão a portão. O mapeamento de processo produtivo é uma técnica avançada para enxergar os processos por inteiro deixando as possíveis falhas visíveis e buscando soluções melhor, pois o processo ajuda na definição das fronteiras, dos principais *inputs* e *outputs* dos envolvidos no fluxo do processo (JÚNIOR *et al.*, 2018). Ficaram preteridos deste estudo o plantio, a colheita, o transporte, e a expedição dos produtos aos distribuidores.

Etapa 1.2 - Identificação dos resíduos/subprodutos e dos respectivos volumes: o objetivo desta etapa de identificação dos resíduos/subprodutos e dos respectivos volumes, foi realizar o levantamento dos resíduos e subprodutos que a indústria de papel e celulose gera ao longo do processo, identificando também os volumes gerados no processo, pois estes foram dados relevantes para esta dissertação, pois eles compuseram os dados para aplicação do teste.

Etapa 1.3 - Identificação aproximada da composição química dos resíduos e subprodutos: o objetivo desta etapa de identificação aproximada da composição química dos resíduos e subprodutos, foi realizar uma pesquisa na literatura identificando a composição química mais próxima possível dos resíduos e subprodutos identificados nas etapas de mapeamento e identificação dos resíduos e subprodutos.

Etapa 2 - Categorização dos Impactos conforme método ReCiPe: nesta etapa de categorização dos impactos conforme método ReCiPe, o objetivo foi categorizar as substâncias e os elementos químicos dos resíduos e subprodutos para abranger todos os compartimentos ambientais, feito a categorização com as substâncias químicos da composição de cada resíduo e subproduto foram identificadas as substâncias que constam dentro das planilhas do método ReCiPe e a partir disto foi identificado o valor do potencial de impactos atribuído aquela substancia na hierarquia do ponto médio que seguiu para próxima etapa sendo o cálculo dos dados identificados.

Etapa 2.1 - Cálculo do impacto potencial em cada resíduo e subproduto: nesta etapa o objetivo foi calcular o impacto potencial das massas de cada substância dos resíduo e subprodutos agora já categorizados e identificados na hierarquia de ponto médio, e obtendo-se um resultado para ser normalizado.

Etapa 2.2 - Normalizações do potencial de impacto: na etapa da normalização do potencial de impacto o objetivo foi deixar todos os dados em uma mesma base, utilizando os fatores de normalização do método ReCiPe, que servir de entrada para a próxima etapa.

A normalização é uma etapa que se destina a ser aplicada a um conjunto de dados que são desiguais, ou seja, apresenta unidades de medidas diferentes, deixando as unidades em uma mesma medida para serem compatíveis, sendo uma triagem própria para determinada situação, a preocupação é fazer os ajustes de escalas, para que transmita os reflexos dos valores externos a um índice. (FEIL e SCHREIBER, 2017).

Etapa 2.3 - Ponderação relativa entre os potenciais impactos: na etapa de ponderação relativa entre os potenciais impactos o objetivo foi usar a ponderação quantitativa do impacto ambiental relativo de critérios e alternativas ambientais com a ponderação foram feitas multiplicando o potencial de impacto normalizado pelos fatores de ponderação associados à categoria de impacto. O fator de ponderação de um impacto ambiental reflete a gravidade do efeito causado pelo impacto. Os resultados dos cálculos do impacto potencial em cada categorização, evidenciará o ordenamento dos critérios em função da grandeza de impacto proporcionado pelo método IAHP. O *software MindDecider* (<http://www.minddecider.com>), forneceu este parâmetro relativo dos resultados. Este software se apresenta como opção de ferramenta “dependência auto resolve” e promove uma redução das questões apresentando uma resolução direta e lógica para tomada de decisão melhorando o entendimento da proporção ou valor para cada questão expressos na mesma dimensão (REBELATO *et al.*, 2019; SIENA, 2008).

Etapa 3 - Desenvolvimento do índice: o desenvolvimento do índice foi uma evolução de Rebelato *et al.* (2019), para que seguindo seu processo se chegue a um indicador único. E Seguindo este processo de adaptação esta etapa do desenvolvimento do índice, utilizou os dados das etapas 1 e 2 levantados e trabalhos junto ao método ReCiPE, com a categorização dos resíduos/subprodutos, os cálculos do potencial de impacto e a normalização, seguindo com a realização da etapa 2.3 que foi a ponderação com os dados normalizados, aplicados no *software MindDecider*, para assim seguir com o desenvolvimento do índice, que ocorreu

aplicando os fatores considerados relevantes como os critérios de abrangência geográficos, e em seguida o cálculo para o resultado de cada interferência de abrangência geográfica. Para o cálculo da destinação dos resíduos/subprodutos o modelo seguido, foi o desenvolvido por Rebelato *et al.*, (2019) e aplicado em uma usina sucroenergética onde defina a destinação final com $k=i$, e a partir da aplicação das etapas descritas seguiu-se o cálculo final para determinar um indicador único para avaliar o desempenho ambiental.

Etapa 4 - Aplicação do índice: nesta etapa o objetivo foi usar o índice desenvolvido juntamente com a empresa escolhida juntamente com os dados trabalhados para aplicar no índice desenvolvido e para se observar sua plausibilidade em fornecer um indicador único na aplicação do índice desenvolvido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste último capítulo foram executadas as etapas previstas na metodologia e realização das análises dos resultados, avaliados o desempenho ambiental do potencial de impacto dos resíduos/subprodutos gerados no processo de fabricação de celulose e papel.

Etapa 4.1 Contexto da empresa

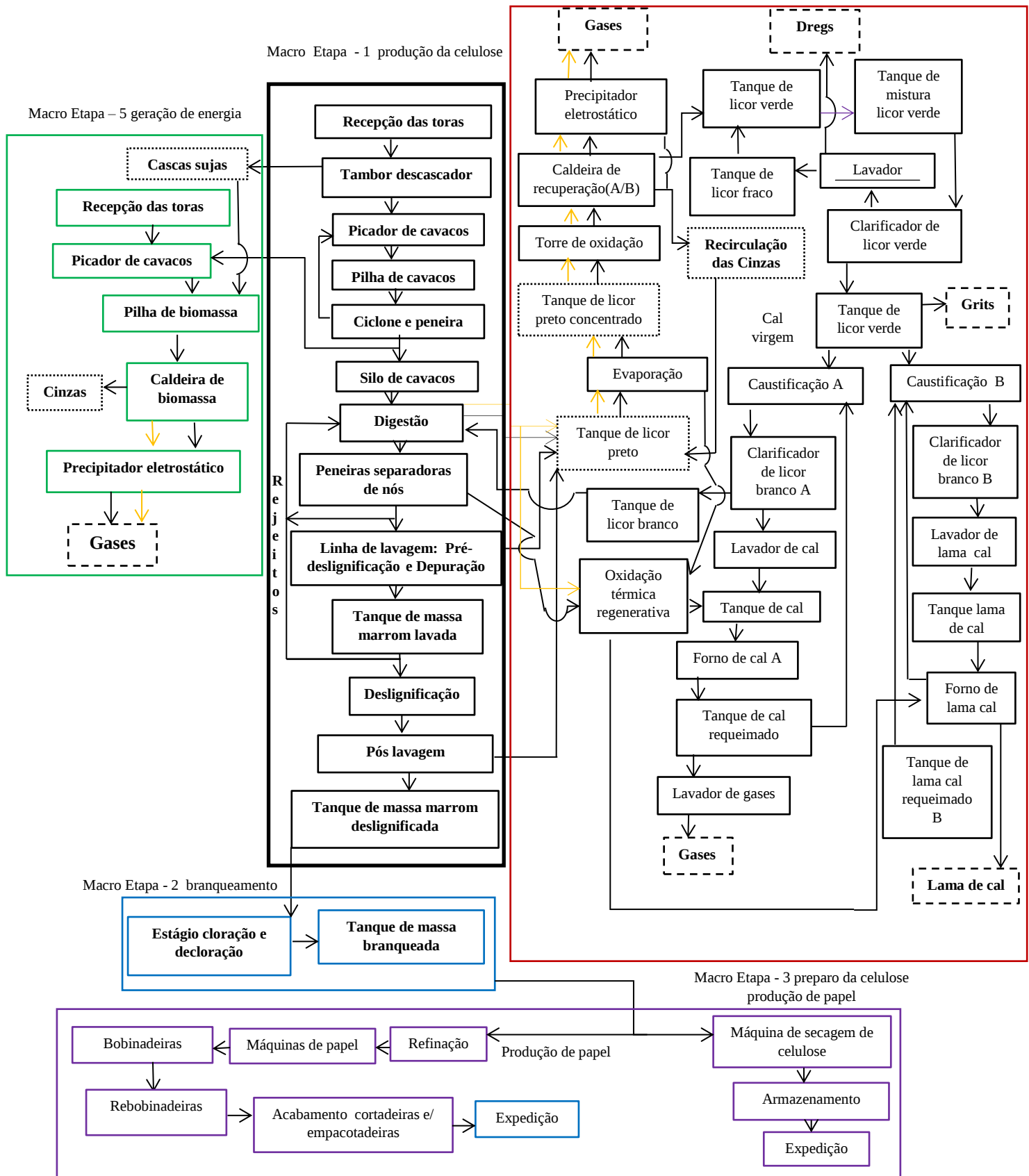
Para a aplicação do índice desenvolvido foram utilizados os dados de uma unidade de uma grande empresa do setor de papel e celulose, que atua no Brasil há mais de 50 anos com produção total de um milhão de toneladas de papel para imprimir e escrever por ano e empregam diretamente 2,8 mil profissionais. O ano de coleta de dados é referente ao exercício de 2018 a 2019, e como fontes de informações foram utilizados para condução desta pesquisa: visita *in loco* na unidade, entrevistas com gestores da área ambiental e de produção, sítios da internet, relatórios de sustentabilidade como o *Global Reporting Initiative* (GRI) relatório com as principais etapas do processo produtivo, fluxograma do processo de produção. Na visita foi possível descrever o processo de produção conforme Figura 5, e ter um entendimento quanto a geração dos resíduos/subprodutos na linha de produção e como é feita a gestão dos mesmos com os detalhes da sua destinação. A referida unidade visitada está localizada no Sudeste e foi incorporada a empresa em 2007, sua capacidade de produção de celulose em 410 mil toneladas e na produção de papel não revestido em 360 mil toneladas.

Etapa 4.1.1 Mapeamentos das etapas do processo de produção de papel, celulose e geração de resíduos e subprodutos

Nesta etapa foi realizado a descrição do processo de produção da unidade de produção de papel e celulose, toda descrição deste processo foi elaborada a partir da *visita in loco* e de informações cedidas pela empresa. O mapeamento do processo de produção iniciou a partir da chegada da madeira no portão sendo o ponto onde ocorre a transformação da matéria-prima (madeira), nos produtos de celulose e papel. O processo de obtenção da celulose é realizado nas macro etapas: 1, 2, 3, 4 e macro etapa 5. No processo específico desta indústria é obtida a celulose branqueada e seca para exportação, e os pacotes de resmas para venda no mercado interno, obtendo-se assim dois produtos.

Figura 5. Fluxograma da produção de celulose papel e recuperação química.

Macro Etapa - 4 recuperação de produtos químicos



Fonte: Autora (2020).

Etapa 4.1.1.1 Macro etapa 1 Processo de produção da celulose

Conforme Figura 5, a macro etapa 1 da produção de celulose está dentro dos retângulos preto com as etapas desde preparo da madeira até a celulose (*Kraft*). O início do processamento da celulose acontece na etapa de preparação da madeira de eucalipto (gênero *Eucalyptus* das espécies *E. grandis* e *E. urophylla*). A madeira é descarregada dos caminhões em duas recepções, por guas hidráulicas, sendo que uma segue para servir para a caldeira de biomassa e a outra para o tambor descascador.

Tambor descascador. Esta etapa conta com uma máquina cilíndrica com processo rotacional; a constante fricção das toras contra as paredes do descascador e com as outras toras fazem com que as cascas se desprendam deixando as toras limpas. As cascas provenientes do tambor descascador vão compor a biomassa e vai ser utilizada como combustível, para gerar vapor na caldeira de biomassa. Como ao longo do pátio e sob as mesas de processamento ficam algumas cascas e serragens, estas também são coletadas, mas elas seguem para compostagem, por conter outras sujidades, tal como areia. As toras após descascadas seguem por esteiras rolantes para a próxima etapa conforme Figura 5. Na etapa seguinte as toras vão para o picador de cavacos.

Picador de cavacos. Nesta etapa do picador de cavacos trata-se de um equipamento que contém um conjunto de facas e contra facas que atuam nas toras, e tem o objetivo de cortar as toras em pequenos pedaços de madeira denominados cavacos. Os cavacos ficam com uma granulometria de aproximadamente 3 centímetros, tamanho viável para uso. Os cavacos são transportados por esteiras até o pátio de cavacos, formando pilhas de cavacos. Na etapa seguinte os cavacos são transportados por correias transportadoras até o ciclone e peneiras.

Ciclone e peneiras. Para esta etapa um equipamento que emprega uma resultante entre as forças de arrasto, centrífuga e inércia para a equalização dos volumes de cavacos nas peneiras, que farão a seleção dos cavacos viáveis. Os cavacos rejeitados na equalização (por ficarem finos ou que podem ter ficado maiores do que as especificações) são levados para repicagem e na sequência são encaminhados para pilha de biomassa. Os cavacos viáveis são armazenados.

Silos de cavacos. Nesta etapa os cavacos viáveis são encaminhados para o silo de cavacos (local de armazenamento), onde vão aguardar para seguirem para a etapa seguinte no digestor.

Digestão. Nesta etapa os cavacos que ficaram armazenados nos silos de cavacos seguem para o digestor através de um equipamento com rosca transportadora, saindo das pilhas

de cavacos até o digestor. No digestor ocorre o cozimento dos cavacos em alta pressão e alta temperatura, com uma solução alcalina de soda caustica denominado licor branco. O objetivo é transformar os cavacos em uma polpa que ficará com uma coloração escura, denominada celulose marrom. Desta etapa da digestão também sai uma linha que leva os Gases Não Condensáveis Concentrados (GNCC). Estes gases não condensáveis concentrados (GNCC) apresentam também elevadas teor de enxofre total reduzido - TRS (*Total Reduced Sulfur*). Eles são advindos da digestão e também dos evaporadores. Os gases seguem para serem queimados nos fornos de cal (A e B) e estão representados pelas linhas em amarelo na Figura 5.

A digestão é dividida em cinco subetapas formando uma torre, cada subetapa com um objetivo diferente conforme descrito abaixo:

Zona de “pré-steaming” ou pré-aquecimento. Nesta subetapa da digestão os cavacos recebem uma descarga de vapor, denominado “*flash vapor*”, levando os cavacos a atingirem uma temperatura em torno dos 130.º. Esta subetapa tem a função de impregnar de água os cavacos, uniformizando a umidade em torno dos 60% dentro de todos os cavacos. A umidade aumenta a capacidade de condução e difusão do licor branco (íons de soda Na OH), dentro dos cavacos. Nesta etapa os alimentadores de licor branco são de baixa pressão, e a dosagem de licor branco é para melhorar as condições na zona de impregnação. Também tem o objetivo de elevar antecipadamente o pH, como também prevenir contra possível hidrólise ácida que prejudicará a resistência da celulose.

Zona de impregnação. O objetivo desta etapa é “impregnar” ainda mais os cavacos com licor branco para cozimento, sendo semelhante ao processo anterior. O licor branco vai se difundir uniformemente dentro dos cavacos, através da água contida no seu interior impregnada anteriormente pelo “*flash vapor*” e pela dosagem moderada de licor branco recebida na primeira subetapa. Nesta subetapa a temperatura dos cavacos é elevada ainda mais chegando a 168.º, para melhor conduzir o licor de cozimento, chegando à lamela média, onde a lignina se encontra altamente concentrada. Com este processo é possível dar um tratamento químico e térmico idêntico a todas as fibras. Estes dois mecanismos de ação no interior dos cavacos procedem da seguinte maneira: (1) O gradiente de pressão hidrostática, ou seja, o equilíbrio dos líquidos faz com que o licor penetre na madeira; (2) O gradiente de concentração é a forma de difusão dos íons e outros solutos através da água, que predomina no meio de cozimento contínuo.

Cozimento. Nesta subetapa a temperatura atinge o valor máximo conhecido, variando entre 173.º a 180.º. Com este nível de temperatura de cozimento ocorrerá a dissolução da lignina, ou seja, a desagregação do polímero de lignina estrutural a partir do tecido da planta.

O processo vai tornar a lignina solúvel, desagregando as fibras de celulose dos cavacos, transformando os cavacos de madeira em uma polpa marrom.

Zona de extração. Na zona de extração a polpa marrom passa por um processo de lavagem com água. O objetivo desta subetapa é recuperar os produtos químicos utilizados para dissolução da lignina. A água utilizada na lavagem também tem a função de efetuar o resfriamento da polpa a ser descarregada. Como nesta etapa de lavagem o licor extraído tem uma temperatura de 170.º, esta energia térmica é aproveitada, pois o processo gera vapor quente, que é reutilizado na zona de pré-aquecimento. Esta subetapa também tem o objetivo de fazer a descompressão nos tanques, e os vapores liberados em alta temperatura proporciona um aumento da concentração de sólidos do licor.

Zona de resfriamento e descarga. A subetapa de resfriamento da digestão se dá em uma parte, localizada abaixo das peneiras inferiores, ou seja, no final das subetapas da digestão, onde ficam os raspadores ou “agitador inferior”, sendo dois braços laterais, que também injetam licor resfriado, a cerca de 60.º. Este processo tem a função de diluir a polpa e promover o resfriamento, de modo a evitar a ebulição do licor na descarga. A temperatura elevada causaria o arrebentamento das fibras de celulose, danificando-as, e abaixando a viscosidade da polpa, depois seguem para as peneiras separadoras de nós.

Peneiras separadoras dos nós. Nesta etapa a polpa é bombeada para o separador de nós de forma pulverizada. O separador de nós, é um equipamento com uma sequência de peneiras com granulometrias finas, que tem o objetivo de promover a separação dos nós e cavacos malcozidos na digestão, chamados de rejeitos. Os rejeitos das peneiras retornam ao digestor para completar o cozimento. A polpa já peneirada e livre dos nós e dos cavacos malcozidos, depois segue para a linha de lavagem.

Linha de lavagem: pré-deslignificação e depuração. A etapa da linha de lavagem é para fazer a pré-deslignificação e a depuração da massa proveniente das peneiras separadoras de nós. Na linha de lavagem a pré-deslignificação vai ocorrer com a adição de O₂, que vai realizar um processo de oxidação dentro de um reator, que também recebe o licor branco que já passou por um processo de oxidação pela adição de vapor e oxigênio. Assim após esta lavagem a massa fica pré-deslignificada ficando depurada e seguindo para o tanque de massa marrom lavada.

Tanque de massa marrom lavada. No tanque de massa marrom lavada a massa é depurada novamente por um processo de lavagem deixando a massa deslignificada, que segue para um compartimento de deslignificação.

Deslignificação. A massa agora deslignificada passa por novo processo de pós-lavagem para completar a depuração, que segue para o tanque de massa marrom deslignificada, ficando assim pronta para o branqueamento.

Etapa 4.1.1.2 Macro etapa 2 Branqueamento

A macro etapa 2, é o branqueamento que está grafado no retângulo de linha azul. A massa marrom deslignificada segue para o compartimento onde é submetida a um processo químico de extração e alvejamento e para também remover a lignina residual da massa que não tenha sido removida nas etapas de cozimento até o armazenamento, que tem o objetivo de eliminar todas as impurezas através da adição de produtos químicos, transformando-a em celulose branqueada que se assemelha a algodão úmido. O processo de branqueamento de celulose trabalha com a sequência denominação cloração/decloração, passando por fases diferentes conforme descrito a seguir.

Estágio de cloração e decloração. Esta etapa ocorre em torre de cloração/decloração por onde a massa marrom deslignificada antes do primeiro estágio químico é lavada com água quente no primeiro estágio é aplicado cloro gasoso e dióxido de cloro (35%), depois no segundo estágio é feita a extração com soda caustica, aplicando oxigênio e peróxido de hidrogênio e no terceiro estágio é aplicação de dióxido de cloro, depois a massa volta a ser lavada e segue para o tanque de massa branqueada.

Os produtos utilizados no branqueamento são descartados para o sistema de tratamento de efluentes líquidos, onde serão tratados. Estes não podem ser reutilizados devido reagir com a lignina residual das fibras, que é responsável pela coloração marrom da massa.

Tanque de massa branqueada. Nesta etapa a massa já branqueada permanece armazenada no tanque de massa branqueada, onde vai aguardar para seguir para próxima etapa.

Etapa 4.1.1.3 Macro etapa 3 Preparo da celulose e produção de papel

Conforme a Figura 5, a macro etapa 3, do preparo da celulose e produção de papel, está representado dentro do retângulo roxo. A celulose branqueada contida nos tanques de massa branqueada segue para produção de dois produtos: a celulose branqueada, e produção de papel.

Máquina de secagem de celulose. Na etapa de preparo da celulose branqueada a massa passa por um processo em máquinas de secagem de celulose, que é feito por prensas e cilindros secadores.

Armazenamento. Após a secagem são realizados os cortes, o enfardamento e o armazenamento para posterior expedição.

Expedição. Nesta etapa a celulose é expedida conforme demanda.

Produção de papel: O outro produto da celulose nesta unidade fabril é a confecção de papel plano, e ele deriva do mesmo produto que sai da macro etapa 2. Neste processo a massa que sai do tanque de massa branqueada vai passar por uma refinação, que tem o objetivo de aumentar à resistência das fibras de celulose.

Refinação. Nesta etapa de refinação, o processo ocorre diluindo em grandes quantidades de água a celulose branqueada, depois da celulose diluída ela é pulverizada nas máquinas de papeis.

Máquinas de papel. Nesta etapa das máquinas de papel têm telas planas formadoras de folhas, onde é pulverizado a celulose diluída, dando início a confecção do papel. Assim as folhas de papeis já começam a tomar forma e gramatura, que são definidos através dos ajustes de velocidade e concentração da massa de celulose branqueada feitos na máquina. As folhas já formadas passam por um processo de prensagem e alisamento que tem o objetivo de retirar o excesso de umidade existente, além de alisar sua superfície e definir sua espessura. Depois desta etapa esta folha segue para a enroladeira.

Bobinadeiras. Nesta etapa as folhas vão ser bobinadas em equipamento onde as folhas são transformadas em grandes rolos de papeis, que por sua vez vão para as rebobinadeiras.

Rebobinadeiras. Nesta etapa das rebobinadeiras os papeis novamente rebobinados e por fim agora seguem para o acabamento nas cortadeiras e empacotadeiras.

Acabamento: cortadeira e empacotadeira. Nesta etapa de acabamento nas cortadeiras e empacotadeiras é onde as bobinas são transformadas em folhas de papeis cortados, adotando padrões de formato e gramatura. Após os cortes as folhas são contadas e separadas de acordo com a quantidade em que elas serão embaladas nas empacotadeiras e depois são expedidas. Os pacotes de folhas embaladas passam a receber o nome de resmas e são encaminhadas para o processo seguinte, sendo agrupadas em caixas.

Expedição. Nesta etapa ocorre o encaixotamento das resmas, as caixas são acomodadas em paletes e encaminhadas para a expedição. Na etapa de expedição é realizado o embarque de paletes em caminhões responsáveis pelo transporte dos diferentes papeis aos distribuidores.

Etapa 4.1.1.4 Macro etapa 4 Recuperação de produtos químicos

Nesta macro etapa 4, ocorre a recuperação dos produtos químicos utilizados no processo para obtenção da celulose. O objetivo é fazer a recuperação dos produtos químicos, para aproveitá-los novamente no processo de transformação da madeira em celulose, em função dos benefícios econômicos e ambientais. Assim as etapas de cada processo que gerou um resíduo ou um subproduto serão mencionadas.

Na etapa de cozimento já ocorre um aproveitamento de produtos. A partir deste cozimento ocorre uma desagregação dos tecidos da madeira, a parcela da madeira não constituída de fibras de celulose, tal como a lignina, junto com o licor de cozimento contendo soda caustica e sulfeto, é separada da celulose marrom na etapa de digestão e na etapa de lavagem, esta parcela é chamada de licor preto. A massa marrom segue para as peneiras de separação de nós e depois para a etapa de branqueamento e o licor preto segue para etapa de recuperação de produtos químicos. Os componentes que formam o licor preto estão descritos no Quadro 3 Constituintes do licor preto. A composição da parte inorgânica é em função da quantidade de químicos usados no digestor.

Quadro 3. Constituintes do licor preto.

Constituído Licor Preto
Carbono (substancia combustível)
Hidrogênio (substancia combustível)
Sulfato de Sódio (Na_2SO_4)
Carbono de sódio (Na_2CO_3)
Sulfeto de sódio (Na_2S)
Potássio
Cálcio
Magnésio
Carbono (resultante do resíduo da madeira lignina)
Hidrogênio (resultante do resíduo da madeira lignina)

Fonte: Autora (2020).

Na etapa de recuperação de produtos, o licor preto proveniente do digestor e da etapa de lavagem, é encaminhado para recuperação dos produtos químicos que são realizadas em uma linha com as seguintes etapas:

Evaporação. Nesta etapa é feita a separação de parte da água contida no licor preto, e a extração de GNC (Gases Não Condensáveis). A evaporação é uma etapa de concentração do licor preto através da eliminação da água contida no licor preto. A separação do condensado limpo do condensado contaminado torna possível a utilização do condensado limpo no processo. O principal objetivo da evaporação é, portanto, aumentar a concentração dos sólidos no licor preto para sua queima na caldeira de recuperação. Após a evaporação o licor já concentrado vai para um tanque de licor preto concentrado onde aguarda para seguir para a torre de oxidação.

Na evaporação ocorre também a extração de GNC (Gases não condensáveis), para posterior queima no sistema de tratamento de odor, denominado de RTO (Oxigenação Térmica Regenerativa). A etapa de tratamento de gases tem o objetivo de impedir as descargas atmosféricas dos gases compostos de enxofre, tais como Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), Metil Mercaptana (CH_3SH), Dimetil Sulfeto (CH_3HS), Dimetil Dissulfeto (CH_3HS_2).

Tanque de licor concentrado. O tanque de licor concentrado é para aonde vai o licor preto depois do processo de evaporação, ele fica armazenado até seguir para próxima etapa.

Torre de oxidação. Nesta etapa se dá a oxidação do licor preto concentrado proveniente dos evaporadores, antes de ser conduzido para as caldeiras de recuperação. Neste equipamento o sulfeto reage com oxigênio do ar resultando em Tiosulfato de sódio. A oxidação do licor é uma etapa importante para minimizar as descargas atmosféricas de enxofre do processo, ao mesmo tempo em que reduz as emissões de TRS (*Total Reduced Sulfur*) das caldeiras de recuperação. TRS são compostos voláteis de enxofre no estado não-oxidado, que são liberados da camada onde a atmosfera é redutora (deficiente de oxigênio). A reação do oxigênio e água com o sulfeto de sódio libera calor, diminuindo o poder calorífico do licor e aumentando os sólidos. O objetivo desta etapa é o controle das emissões gasosas de ODOR para controle ambiental. O Tiosulfato permanece estável na etapa seguinte, de evaporação por contato direto com os gases de exaustão da caldeira, evitando a emissão de gás sulfídrico de odor característico e desagradável.

Sistema de tratamento de odores, esta etapa tem um sistema de tratamento de odores, que atua com o objetivo de coletar, tratar e queimar os gases odoríferos conhecidos como GNCC - gases não condensáveis concentrados e GNCD - gases não condensáveis diluídos. Os

gases têm características malcheirosas em decorrência do TRS, enxofre total reduzido, que pode ser em altas ou baixas concentrações.

Gases Não Condensáveis Concentrados GNCC estes gases não condensáveis concentrados (GNCC) são provenientes, do digestor e dos evaporadores. Hoje nesta unidade os gases são queimados no forno de cal.

Gases Não Condensáveis Diluídos GNCD

Os gases concentrados, mas em função de ser fonte de mau cheiro são coletados e tratados. No Quadro 4 Fonte de Gases Não Condensáveis Diluídos, são apresentadas as fontes geradoras destes gases. Os gases são coletados por sistema de ventiladores e exaustão.

Quadro 4. Fonte de gases não condensáveis diluídos.

Fonte de geração dos gases
Deslignificação
Linha de lavagem
Válvulas do Tanque de descarga no cozimento
Depuradores
Silo de cavacos e filtros
Tanque de licor
Oxidação de licor preto

Fonte: Autora (2020).

Etapa 4.1.1.5 Macro etapa 5 Caldeiras de recuperação (A e B) e tanques de dissolução (A e B)

Após passar pelos evaporadores o licor segue para a caldeira de recuperação. Este equipamento é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica fornecida à água pelo combustível. A caldeira possui outros equipamentos associados que permitem um maior rendimento. O licor preto gerado no cozimento e na lavagem contém todos os componentes inorgânicos originais do licor branco utilizado no processo de digestão, lignina e outros componentes orgânicos da madeira.

Desta forma, a recuperação dos reagentes constitui uma parte essencial do processo. O objetivo do sistema de recuperação consiste desta forma, em:

- I) retornar os reagentes com mínimo de perda;
- II) produzir vapor para as diversas operações, tais como cozimento e branqueamento;

III) ser capaz de produzir um licor de cozimento com composição adequada à sua reutilização;

IV) eliminar partes dos poluentes com potencial poluidor.

A caldeira de recuperação passou a ter um papel fundamental, tanto economicamente pela geração de energia, como ambiental, recuperando o licor preto.

Um dos equipamentos associados das caldeiras de recuperação, é a fornalha, que faz a queima do licor preto. O licor preto é introduzido na fornalha com seu teor de sólidos controlados, e não pode ser inferior a 58% de sólidos. Todas as condições também são controladas tais como condições dos bicos, distribuição, temperatura e pressão do licor, fornecendo uma operação segura. Esta etapa se inicia com o licor preto sendo pulverizado na fornalha levando a vaporização da água contida. O material orgânico queima, enquanto o inorgânico funde, e vai formar o fundido (*Smelt*). A parte inorgânica do licor é principalmente Carbonato de Sódio (Na_2CO_3) e Sulfato de Sódio (Na_2SO_4). O Carbonato de sódio deixa a fornalha com o fundido sem reagir, enquanto o Sulfato de Sódio (Na_2SO_4) é convertido em sulfato de Sódio (Na_2S).

A parte inorgânica fica depositada no fundo da caldeira (Camada) em estado fundente devido à alta temperatura. Ela escorre para fora da caldeira, diretamente para o tanque de Dissolução, onde é misturada com uma solução alcalina fraca. Esta mistura, chamada de Licor Verde segue para a área de caustificação onde é realizada a recuperação da soda, transformando se em Licor Branco de cozimento. Os tanques de dissolução (A e B) tem então o objetivo promover a mistura dos inorgânicos, em estado fundente, do interior da caldeira com a solução alcalina fraca gerando o Licor Verde.

Etapa 4.1.1.6 Macro etapa 6 Recirculação das cinzas.

Nesta etapa ocorre a recuperação das cinzas geradas no sistema de fornalha. As cinzas fazem um processo de recirculação, e esta coleta tem como principal objetivo a recuperação do Sulfato de Sódio. As cinzas são arrastadas com o fluxo de ar da fornalha e são coletadas no banco de geração pelo *hopper*, que é um sistema desenvolvido para esta finalidade, e no precipitador. Estas cinzas retornam ao licor preto no tanque de mistura e tanque de licor oxidado. A quantidade de cinzas depende da operação da caldeira, condições da fornalha e conteúdo de inorgânicos no licor. A recirculação de cinzas está entre 2% a 8% da porcentagem de sólidos da fornalha.

Precipitador eletrostático. Nesta etapa o precipitador eletrostático é um sistema de controle de emissões atmosféricas das caldeiras. Desta forma os efluentes gasosos gerados nas Caldeiras de Recuperação são tratados em precipitadores eletrostáticos antes de serem lançados na atmosfera. Como se trata de dois sistemas, um para cada caldeira de recuperação, tem-se o precipitador que é do tipo fundo úmido, e as cinzas são enviadas para um tanque de alimentação, circulam no precipitador e, posteriormente, no evaporador de contato direto (ciclone), retornando para a caldeira. Já a outra Caldeira de Recuperação o precipitador possui fundo seco, e as cinzas recolhidas no fundo são enviadas para um tanque de dissolução de cinzas e posteriormente seguem para o filtro de cloreto. No entanto, a massa formada após a filtração a vácuo retorna para o sistema de licor, consequentemente para a caldeira.

Gases. Nesta etapa são liberados para atmosfera os gases depois de passar por todo o processo e queima e agora pronto para ser liberado.

Tanque de licor verde. Tanque de licor verde é para onde segue o licor depois de passar nas caldeiras de recuperação. O calor faz com que a matéria orgânica (reagentes químicos) venha a se fundir e se acumula no fundo da caldeira. No tanque de licor verde é feita a solubilização do fundido (*smelt*), resulta o licor verde, que toma esta cor devido aos sais ferrosos formados. Este licor é rico em carbonato de sódio e sulfeto de sódio.

Tanque de mistura de licor verde. Tanque de mistura de licor verde. Nesta etapa o tanque tem a função de receber o licor verde vindo do tanque que sai das caldeiras, recebe também o licor fraco, com objetivo de fazer a mistura dos licores e enviar para a clarificação do licor verde.

Clarificador de licor verde. Na etapa de clarificação o licor vai passar por mais um processo para sua recuperação. A clarificação tem o objetivo de separar por gravidade, sólidos suspensos que estão presentes no licor verde.

Estes sólidos denominados *dregs* são constituídos de material orgânico não queimado (Carvão) originados na camada da caldeira de recuperação, que são arrastados pelos inorgânicos fundentes para o tanque de dissolução. Após a separação o licor verde clarificado segue para a caustificação, para recuperação química da soda e outra parte segue para outra etapa.

Lavador. Nesta etapa o licor proveniente da clarificação de licor verde é lavado e segue para o tanque de licor fraco, que por sua vez segue para o tanque de mistura de licor verde e que posteriormente é reinserido na clarificação.

Tanque de licor verde. Este tanque de licor verde é um reservatório que armazena o licor verde vindo do clarificador de licor verde e vai seguir no processo para a caustificação que

se divide em duas linhas, linha A e linha B. Deste tanque sai os *Grits* que são as impurezas que normalmente acompanham a cal virgem.

Caustificação A. Nesta etapa do processo, o licor verde obtido na diluição do fundido, que é o material inorgânico proveniente da queima do licor preto na caldeira de recuperação é caustificação, ou seja, o carbonato de sódio presente no licor é convertido em hidróxido de sódio através da reação com o hidróxido de cálcio (cal), precipitando o carbonato de cálcio. Ele recebe a cal virgem para desencadear o processo e a opção pela linha A é apenas pela funcionalidade uma vez que é de menor porte e mais fácil controle. O licor resultante nesta etapa do processo segue para os clarificadores de licor branco e depois segue para o armazenamento no tanque de licor branco. Este licor é utilizado nos digestores na etapa de cozimento da madeira, reiniciando, assim, o ciclo produtivo.

Clarificador de licor branco linha A. Nesta etapa ocorre nova clarificação, mas agora com outra função. Depois da caustificação, a etapa de clarificação é para separação dos sólidos de carbonato de cálcio resultante da reação, que são enviados posteriormente para o forno de cal. O Licor clarificado, agora denominado Licor branco está pronto para fechar o ciclo e ser reinserido na etapa da digestão.

Tanque de licor branco. Esta etapa ocorre com o objetivo de armazenar o licor branco advindo da clarificação, onde ele vai ser reintroduzido no processo na etapa da digestão até ser necessário.

Lavador de cal A. Nesta etapa a cal é lavada, junto à cal estão presentes a Soda Caustica e os Sulfetos, necessários ao processo de cozimento e que minimizam as perdas em seguida segue para o tanque de cal.

Tanque de cal. Esta etapa é onde ocorre o armazenamento da cal vindo do lavador de cal.

Forno de cal A. Nesta etapa está o forno de cal A. Equipamento constituído de um cilindro em chapa de aço carbono revestido interiormente de tijolos refratários. O forno A, tem objetivo específico de transformar a cal em cal requeimada, para ser reutilizada no processo de regeneração do licor verde. O forno tem ainda o objetivo de queimar os gases não-condensáveis, das etapas de cozimento da madeira e da concentração do licor preto, também está preparado para queimar os gases odoríferos que tem seus constituintes citados no Quadro 5 – Constituinte Dos Gases Não Condensáveis.

Quadro 5. Constituinte dos gases não condensáveis.

Gases não-condensáveis constituem-se principalmente de:
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)
Metil Mercaptana (CH ₃ SH)
Dimetil Sulfeto (CH ₃ SC ₃)
Dimetil Dissulfeto (CH ₃ S ₂ CH ₃)

Fonte: Autora (2020).

Assim esta etapa do forno, tem uma câmara de gás na sua parte mais alta (alimentação), donde parte dos gases são parcialmente lavados e depois seguem para o exaustor e, em seguida para o sistema de lavagem dos gases.

Tanque de cal requeimado. Nesta etapa se dá o armazenamento de cal requeimado.

Lavador de gases. Nesta etapa tem o sistema composto pelo lavador de gás e pelo separador de gotas. Este sistema tem o objetivo de remover as partículas de lama de cal e/ou seca que são levadas pelos gases de exaustão, não deixando que elas escapem para a atmosfera. Por estas partículas representarem de 10 a 30% da produção do forno, elas têm que ser removidas dos exaustores e reintegradas ao processo.

Os gases gerados dos fornos de cal são constituídos basicamente dos gases de combustão do óleo combustível, do excesso de ar e do dióxido de carbono CO₂ resultante da reação de calcinação. Estes gases seguem na direção contrária a lama alimentada, e conforme entram em contato com a lama de cal úmida, eles são parcialmente resfriados, na secção de correntes. E é neste fluxo que ocorre o arraste das partículas sólidas junto aos gases.

Na linha B o processo se repete com algumas alterações.

Caustificação B. Nesta etapa o processo se semelhante com a etapa da caustificação A, a diferença que não há adição de cal virgem e o seu produto segue para o tanque de licor branco e os gases são lavados. O licor verde obtido da clarificação do tanque de licor verde é armazenado, o licor verde passa pela caustificação e se torna licor branco na linha B e segue para a próxima etapa que é o lavador de lama de cal.

Clarificação de licor branco B. Nesta etapa ocorre nova clarificação, mas agora com outra função. Depois da caustificação, a etapa de clarificação é para separação dos sólidos de carbonato de cálcio resultante da reação, que são enviados posteriormente para o lavador de lama de cal.

Lavador de lama de cal. Nesta etapa ocorre a lavagem da lama de cal onde são separados pela lavagem da lama, sendo dissolvidos na água de lavagem, e enviados ao sistema de recuperação, desta forma minimizando as perdas.

Tanque de lama de cal. Nesta etapa se dá o armazenamento da lama de cal.

Forno de lama de cal B. Nesta etapa é feita a queima da lama de cal, e depois da queima da lama de cal parte é resíduo de lama de cal e outra parte vai para o tanque de cal requeimado.

As pedras de cal formadas no processo da queima da lama retêm calor e este calor é recuperado e aproveitado para aquecer o ar de combustão (ar secundário), aproveitado em função da depressão existente no interior do forno, as partículas deste processo são lavadas antes de saírem para a atmosfera.

Em corrente contrária à alimentação da lama, o dióxido de carbono (CO₂) resultante da calcinação da lama de cal, em conjunto com os gases de combustão abandonam o forno. Depois da troca de calor com a lama, esses são aspirados por um exaustor, carreando partículas de cal e/ou lama de cal. Antes de serem lançados na atmosfera os gases são lavados para recuperar as partículas. Deste processo ainda fica remanescente lama de cal que é um resíduo.

Etapa 4.1.1.7 Macro etapa 7 Caldeira de biomassa

Nesta etapa estão descritas as etapas de funcionamento da caldeira de biomassa.

Recepção das toras. Esta etapa também conta com uma recepção de toras, ponteiros e galhos das árvores e como fonte de alimentação da caldeira de biomassa, que seguem para o picador. As cascas de madeira vindo do tambor descascador também alimenta a caldeira de biomassa.

Picador de cavacos. Nesta etapa toda a biomassa que vai seguir para a caldeira passa pelo picador de cavacos, e segue para as pilhas de cavacos.

Pilhas de cavacos. Nesta etapa se dá o armazenamento dos cavacos provenientes do picador, e que posteriormente segue para a caldeira de biomassa.

Caldeira de biomassa. A caldeira de biomassa é utilizada para gerar energia e dessa forma, a fábrica tem 90% de energia renovável em sua operação.

Precipitador eletrostático. Nesta etapa tem-se o precipitador eletrostático que é um equipamento de captação das cinzas, presentes nos gases de combustão, na saída da caldeira. O precipitador consiste principalmente de compartimentos, eletrodos de emissão, placas coletoras com as respectivas molduras, retificadores de alta voltagem e transportadores.

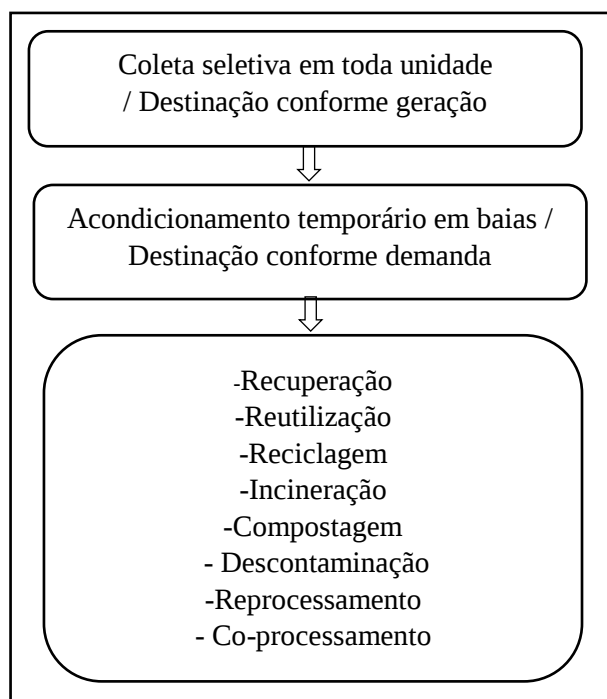
Gases. Nesta etapa os gases gerados na caldeira são transportados através de arranjo de dutos e ventilador até a entrada do precipitador. É retirado para fora do precipitador o pó precipitado que são as cinzas, depois segue para o silo de cinzas e posteriormente à compostagem.

Etapa 4.1.2 Identificação dos resíduos/subprodutos e seus volumes.

Como descrito na metodologia esta etapa da dissertação seguiu concomitante ao levantamento do processo produtivo da unidade pesquisada para aplicação do índice. Os resíduos pesquisados são os provenientes das condições normais da operação nas etapas de produção do papel e celulose e na recuperação do licor preto conforme relatório de movimentação de resíduos e subprodutos.

Os resíduos/subprodutos, seus respectivos volumes e sua destinação final foram identificados em cada etapa pela qual passa a matéria-prima (madeira) à ser transformado em celulose e papel, até o encaminhamento para sua destinação, que apresenta o fluxograma dos resíduos/subprodutos no processo.

Figura 6. Fluxograma dos resíduos/subprodutos.



Fonte: Autora (2020).

Na macro etapa 1 são gerados como resíduos as cascas de eucaliptos e licor preto, da macro etapa 2 e 3 são gerados aparas de papel de celulose, os tubetes, sucata de feltro e plástico. Na macro etapa 4 são gerados os gases, os *dregs*, *grits*, a lama de cal e cinzas. Da macro etapa 5 são gerados gases e cinzas. Da macro etapa 1 e 2 também são gerados o lodo primário e o lodo secundário. Os demais resíduos sendo eles a borracha, a graxa, o óleo, as pilhas e baterias, vidro, bombona vazia, paletes danificados e a sucata metálica são geradas no processo de manutenção do funcionamento normal da unidade compreendendo o que está identificado e exposto no Quadro 6, com as quantidades anuais e destinação de cada um. Já na Figura 6 está demonstrado o fluxograma dos resíduos e subprodutos que é observado sistematicamente dentro do processo de produção de papel e celulose. Estes procedimentos são extensivos também aos provedores de bens e serviços da unidade.

Quadro 6 Resíduos/subprodutos, quantidade e destinação.

Resíduos/ Subprodutos	Quantidade anual	Destinação
Casca de eucalipto	25.000t	Compostagem/Biomassa
Dregs	2.500t	Compostagem
Grits	1.000t	Compostagem/aplicação no solo
Lama de cal	13.000t	Compostagem/ aplicação no solo
Lodo primário	31.800t	Encaminhado para indústria de papeis menos nobres
Cinzas	68.600t	Parte é reutilizado no processo, outra parte é aplicado no solo, e outra parte depositado a céu aberto, aguardando destino
Lodo secundário	26.700t	Compostagem
Papel e celulose	70t	Reciclagem
Plástico	80t	Reciclagem
Metal (sucata metálica)	50t	Reciclagem
Tubetes	50t	Reciclagem
Borracha	2 t	Enviado para incineração
Graxa	0,2t	Rerrefino
Óleo usado	0,3t	Rerrefino
Bombona Vazia	15t	Devolvida ao fornecedor
Paletes danificados	30t	Enviados para recuperação
Lâmpadas	600 unid.	Enviado para descontaminação
Lixo eletrônico	1,25t	Reprocessamento

Pilhas e baterias	0,78t	Reprocessamento
Vidro	0,36t	Vendido para reciclagem
Sucata de feltro	7,13t	Reciclagem
Emissões atmosféricas	2370058,61t	Lançado na atmosfera

Fonte: Autora (2020).

Os resíduos/subprodutos passam por processos de tratamentos tais como processos térmicos, químicos ou biológicos como o processo de recuperação do licor preto, de modo a minimizar ou eliminar os riscos à saúde e ao meio ambiente, da mesma forma ocorre com a disposição final, para garantir uma proteção à saúde e ao meio ambiente.

Etapa 4.1.3 Identificação aproximada da composição química dos resíduos e subprodutos.

Após o processo de identificação dos resíduos/subprodutos e seus respectivos volumes e sua destinação, foi realizada a etapa de identificação da composição química aproximada conforme Quadro 7, com pesquisa na literatura dos mesmos para a continuidade do processo de estudo.

Quadro 7 – Composição Química aproximada

Resíduos/Subprodutos Composição Aproximada Kg					
Cascas de eucaliptos	Dregs	Grits	Lama de cal	Lodo Primário	Cinzas
629.133 (Ca)	582.400 (Ca)	381.000	4.930 (Ca)		1.590.000
80.975 (N)	154.700 kg (Na ₂)	(Ca)	81.900 (Na ₂)	159 (As)	(Ca)
73.333 (Mg)	88.213 (Mg)	40.800	68.900 (Mg)	63,6 (Be)	611.000
71.433 (K)	339.000 (Si)	(Na ₂)	102.000 (Si)	15,9 (Cd)	(Na ₂)
7.167 (P)	46.900 (Al ²)	3.380	8.600 (Al ₂)	127,2 (Pb)	298.000
	12.750 (P ² O ⁵)	(Mg)	106.600 (P ₂ O ₅)	127,2 (Cu)	(Mg)
	3.934 (Fe ²)	1.590 (Si)	6.360 (Fe ₂)	95,4 (Cr – total)	142.000 (Si)
	2.910 (Cr ²)	397 (Al ₂)	4.440 (Cr ₂)	3,18	4.900 (Al ₂)
	5.610 (Mn)	2.900	5.030 (Mn)	(Hg)	2.538,200
	2.180 (K ²)	(P ₂ O ₅)	4.320 (K ₂)	31,8 (Se)	(P ₂ O ₅)
	3.380 (Sr)	244 (Fe ₂)	21.900 (Sr)		192.000 (Fe ₂)
	2.240 (Ba)	342 (Cr ₂)	11.600 (Ba)	1.113 (Zn)	169.000
	1.061 (Co ²)	1.240 (Mn)	5.510 (Co ₂)		(Mn)
	2.320 (Pb)	249 (K ₂)	12.100 (Pb)		1.990.000
	2.008,4 (Zn)	1.610 (Sr)	8.490 (Zn)	15,900	(K ₂)
	7.491 (Ti)	896 (Ba)	3.890 (Ti)	(Ni)	157.000 (Sr)
	45.300 (S)	424 (Co ₂)		3,18 (CN)	
		928 (Pb)			
		803 (Zn)			

		2.990 (Ti)		31,8 (C ₆ H ₅ OH) 190,8 (V)	102.900 (Cl) 3.018,400 (SO ₃)
Lodo Secundário 10.680.000 (C) 1201.500 (N) 26.7000.000 (S) 200.250 (P) 106.800 (K) 507.300 (Al) 44.900 (Si) 66.750 (Fe) 1.655,4 (Cd) 7.796,4 (Cu) 534 (Cr) 1.495.200 (Pb) 13.4835 (Hg) 1.321,65 (Ni) 14.284,5 (Zn)	Papel e celulose kg 10.500 (C) 196 (N) 112 (P ₂ O ₅) 32 (K ₂) 6.500 (Ca) 350 (Mg) 49 (S) 12,32 (Cu) 9,24 (Zn) 196 (Fe) 4,13 (Mn) 462 (Na) 0,77(B) 1,89 (Pb) 0,35 (Ni) 0,14 (Cd) 3,22 (Cr) 0,0028 (Hg) 1,05 (Mo) 1,12 (Co) 4.410 (Al)	Plástico (CH ₂ -CH ₂) _n	Metal (Sucata metálica) 1,9895 (Fe) 72,5(C) 9,8 (Si) 1,42 (Mn) 5,6 (P) 4,6(S) 2.620,6(Cr) 4,6 (Ni) 1,08 (Cu) 159,725 (Al) 1(Sn) 1,25 (N) 3,125 (H) 5 (O) 1 (V) 2.223,5 (Ti) 0,0365(Mn)	Tubeles 6,905 (C) 1.235(H) 126 (N) 72 (P ₂ O ₅) 49,5(K ₂ O) 5,85(Ca O) 373,5 (Mg O) 31,5 (S) 7,92(Cu) 5,94(Zn) 126 (Fe) 26,55 (Mn) 297 (Na) 0,495 (B) 1,215 (Pb) 0,225 (Ni) 0,09 (Cd) 2,07 (Cr) 0,0018 (Hg) 0,675 (Mo) 0,72 (Co) 2.835(Al)	Borracha 24,257 (C ₁₈ H ₃₆ O ₂) 48,7 (Zn) 24,257 Antioxidante 29,109 (S) 6,064 (DTDM-4-il)
Graxa 105,625 (C) 15 (H) 0,75 (O) 0,75 (N) 3,125 (S)	Óleo Usado 93,1707 (S) 13,9756944 (Ca) 7,494212962 (Zn) 0,405092592 (Pb) 6,88657407 (P) 1,16666667 (Fe) 0,607638888 (Mg) 0,607638888 (Na) 0,405092593 (Si) 0,405092593 (B) 0,116666666 (Mn) 0,405092593 (Cu) 0,175 (Mo) 0,175 (Al) Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: naftaleno,	Bombona vazia 149.175(Fe) 7,5 (C) 4,5 (Si) 39 (Mn) 1,65 (P) 3 (S) 4,5 (Cr) 4,5(Ni) 8,1 (Cu) 4,95 (Al) 7,5 (Sn)	Paletes danificados 11.818,4 (C) 1.4321(H) 10.6213 (O) 0,00013127 (N) 7,459 (Mn) 1,658 (Si) 1.645,07 (Fe)	Lâmpadas 1,1373(Ca) 0,5436 (P) 0,0885 (F) 0,0258 (Mn) 0,0216 (Cl) 0,0183 (Sb) 0,0057 (Fe) 0,0054(Cd) 0,00174 (Al) 0,00093 (Ba)	Lixo Eletrônico 0,00017715 (Al) 78,725 (Pb) 0,0125 (Ge) 0,0125 (Ga) 255,888 (Fe) 12,588(Sn) 86,6(Cu) 0,3875 (Ba) 10,625(Ni) 2,755(Zn) 0,1875 (Ta) 0,0125 (In) 0,0025 (V) 0,1875 (Be)

	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			0,000429 (Mg) 0,000375 (Sr) 0,00027 (Ni) 0,000114 (Pb) 0,000030 Cr 0,000021 (Zn) 0,000012 (Co) 0,000105 (La) 0,000093 (Nd) 0,000036 (Ce) 0,00018 (Sm) 0,000009 (Dy) 0,000009 (Er) 0,000006 (Ho)	0,02 (Au) 0,1875 (Ti) 0,1875 (Co)
Pilhas e Baterias kg 0,000038376 (Zn) 0,000183924 (Mn) 0,0000000546 (Ni) 0,0000000312 (Cd)	Vidro kg 63,2 (Ca) 112(Si) 168 (Al ₂) 1,008 (SO ₃) 3,10 (Fe ₂) 0,24352 (Sr) 2,03(Na ₂)	Sucata de feltro (CH ₂ - CH ₂) _n	Emissões Atmosféricas 1573465,231 (N ₂) 242362,8 (H ₂ O) 314995,2943 (CO ₂) 237642,2859 (O ₂) 353,7247161(SO ₂) 1239,275782 (NO ₂)		

Fonte: Autora (2020).

Etapa 4.2 Categorização dos Impactos conforme método ReCiPe

Nesta etapa conforme o objetivo traçado na metodologia foi a categorização dos resíduos e subprodutos conforme o método ReCiPe. A categorização é um processo no qual de

posse das substâncias dos resíduos e subprodutos, foi buscado dentro das planilhas do método ReCiPe, as mesmas substâncias em cada uma das doze categorias sendo proposto nesta pesquisa: a) Alteração climática, b) Depleção de ozônio, c) Acidificação terrestre, d) Eutrofização de água doce, e) Eutrofização marinha, f) Toxicidade humana, g) Formação fotoquímica de oxidantes, h) Formação de material particulado, i) Ecotoxicidade terrestre, j) Ecotoxicidade em água doce, l) Ecotoxicidade marinha. Após esta identificação se localizava a coluna da hierarquia de ponto médio (*midpoint*) e da linha de intervenção foram extraídos os valores a serem calculados com as massas das substâncias, fazendo a harmonização do ponto médio. Estes dados estão apresentados já calculados na Tabela 2 da etapa 2.1.

Etapa 4.2.1 – Cálculo do impacto potencial em cada resíduo e subproduto

Conforme objetivo descrito para esta etapa foram realizados os cálculos do impacto potencial das massas das substâncias de cada resíduo e subproduto por cada categoria com os dados das substâncias apresentadas pelo método ReCiPe, descritos na etapa anterior. Para a realização dos cálculos a expressão [1] foi elaborada.

Para este entendimento a expressão abaixo é utilizada.

[1]

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

Onde:

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

A expressão foi aplicada e conforme consta nos dados da Tabela 1 os resultados obtidos estão descritos em cada categoria para seguir com a realização da normalização que já está descrita na etapa 2.2.

Tabela 1. Potencial de impacto dos resíduos/subprodutos gerados no processo de fabricação de celulose e papel

Resíduo ou subproduto	Alterações Climáticas kg CO2 eq	Depleção da Camada de Ozônio kg CFC-11 eq	Acidificação Terrestre kg SO2 eq	Eutrofização de Água Doce kg P eq	Eutrofização Marinha kg N eq	Toxicidade Humana kg 1,4-DB eq	Formação fotoquímica de oxidantes kg NMVOC	Formação de Material Particulado kg PM10 eq	Ecotoxicidade Terrestre kg 1,4-DB eq	Ecotoxicidade de Água Doce kg 1,4-DB eq	Ecotoxicidade Marinha kg 1,4-DB eq
Emissões Atmosféricas	0	0	1,17E+01	0	6,59E+00	0	2,18E+01	2,29E+01	0	0	0
Cinzas	0	0	0	0	0	1,34E+05	0	0	1,34E+05	3,77E+03	1,20E+05
Lodo Secundário	0	0	0	0	0	2,79E+04	0	0	2,79E+04	2,34E+03	1,70E+06
Lama de Cal	0	0	0	1,62E+05	0	8,81E+03	0	0	8,81E+03	3,56E+02	3,60E+02
Lodo Primário	0	0	0	0	0	3,51E+03	0	0	3,51E+03	3,44E+03	3,92E+03
Dregs	0	0	0	1,94E+04	0	2,02E+03	0	0	2,02E+03	1,49E+02	5,54E+02
Cascas de Eucaliptos	0	0	0	2,47E+04	0	0	0	0	0	0	0
Grits	0	0	0	4,40E+03	0	2,59E+02	0	0	2,59E+02	1,72E+02	1,87E+02
Lixo Eletrônico	0	0	0	0	0	1,21E+00	0	0	2,77E+02	6,31E+01	5,82E+01

Bombona Vazia	0	0	0	0	0	2,50E-01	0	0	3,18E+01	9,56E+00	9,01E+00
Sucata Metálica	0	0	0	0	0	1,59E-01	0	0	1,31E+01	7,64E+00	7,63E+00
Papel Celulose	0	0	0	0	0	2,50E+01	0	0	2,50E+01	6,18E+00	6,19E+00
Tubetes	0	0	0	0	0	5,05E-01	0	0	3,09E+01	6,70E+00	6,00E+00
Borracha	0	0	0	0	0	9,89E-01	0	0	4,26E+00	3,06E+00	2,38E+00
Óleo Usado	0	0	0	0	0	1,83E-01	0	0	1,06E+01	1,20E+00	5,66E-01
Paletes Danificados	0	0	0	0	0	4,39E-02	0	0	7,38E-04	2,12E-02	2,03E-02
Lâmpadas	0	0	0	0	0	3,79E-02	0	0	5,86E-02	1,67E-02	4,11E-02
Plástico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graxa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pilhas e Baterias	0	0	0	0	0	1,92E-06	0	0	3,37E-05	3,01E-06	2,45E-06
Vidro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sucata de Feltro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autora (2020)

Etapa 4.2.2 Normalização dos potenciais de impactos calculados e os potenciais normalizados

Na Tabela 2 apresenta-se as categorias de impacto com suas respectivas unidades de dimensão e os fatores de normalização em cada categoria para garantir maior precisão dos dados.

Tabela 2. Categorias de impacto, unidade de dimensão e fator de normalização

Categorias de impacto ambiental	Fator de Normalização	Unidade e dimensão
Eutrofização de água doce	0,28985287	kg P eq
Eutrofização marinha	7,3390614	kg N eq
Alterações climáticas	6891,0279	kg CO2 eq
Acidificação terrestre	38,186574	kg SO2 eq
Formação do oxidantes fotoquímicos	56,736572	kg NMVOC
Formação de material particulado	14,058316	kg PM10 eq
Ecotoxicidade de água doce	4,3035669	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade humana	326,30698	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade marinha	2,4624115	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade terrestre	5,9287798	kg 1,4-DB eq

Fonte: Método ReCiPe (2008).

Na Tabela 3, potenciais normalizados, apresentam-se os dados da etapa que foram calculados a normalização, que são valores que dependem especificamente dos dados obtidos dos agentes ambientais com potencial poluidor no processo, aqui aplica-se para que se obtenha um valor único para o entendimento detalhado dos dados que vai compor a construção do índice para se obter os potenciais de impactos.

Tabela 3. Potenciais normalizados

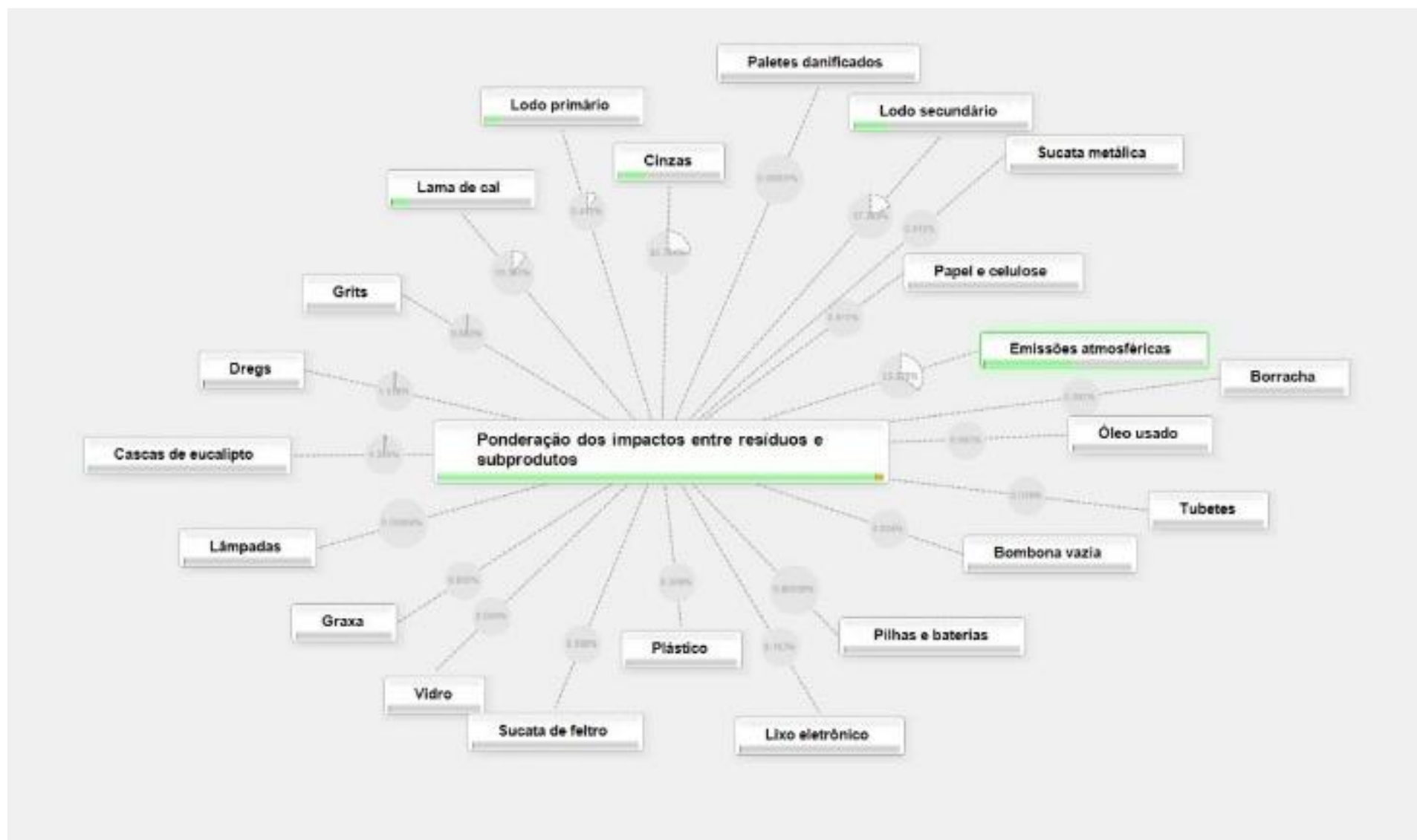
Categorias de Impacto	Normalização
Alterações Climáticas	4,57E+01
Depleção da Camada de Ozônio	0,0
Acidificação Terrestre	1,17E+01
Eutrofização de Água Doce	2,10E+05
Eutrofização Marinha	6,59E+00
Toxicidade Humana	1,77E+05
Formação fotoquímica de oxidantes	2,18E+01
Formação de Material Particulado	2,29E+01
Ecotoxicidade Terrestre	1,77E+05
Ecotoxicidade de Água Doce	1,03E+04
Ecotoxicidade Marinha	1,83E+06

Fonte: Autora (2020).

Etapas 4.2.3 Ponderação quantitativa do impacto ambiental relativo entre os critérios e alternativas ambientais

Nesta etapa foram avaliadas as etapas do processo realizadas com todas os dados de entradas para elaboração do índice IRDA, aplicando o método IAHP, os resultados da ponderação relativa foram dados pelo *software MindDecider* que é uma ferramenta que engloba uma ação de “auto resolve” que traz a níveis basais a importância das correlações inseridas, e que neste estudo o *software* teve a função de tomada de decisão dentre os resultados obtidos conforme Figura 7, indicando uma alternativa viável no curso da aplicação do índice e diante do que se apresentou no processo de levantamento dos resíduos/subprodutos, oportunizando o cálculo do peso relativo $Va(i)$. Com as variáveis constatadas os critérios foram ordenados de forma crescente conforme a Tabela 4, atribuindo os pesos relativos a cada alternativa para aplicação no *software MindDecider*.

Figura 7. Resultado da ponderação entre critérios e alternativas ambientais.



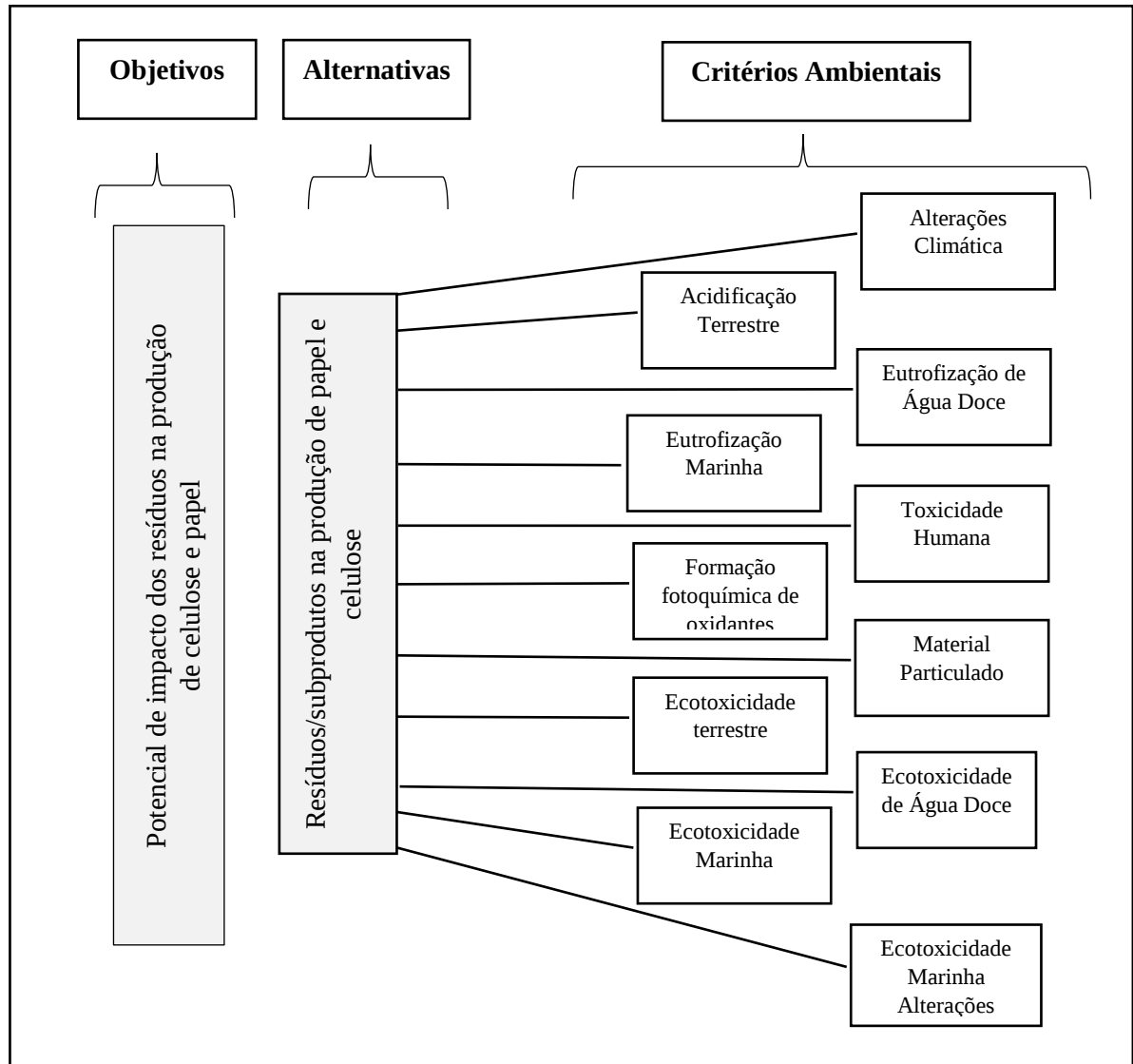
Fonte. Gerada pelo software MindDecider

Tabela 4. Peso relativo do potencial de impacto.

Resíduo/subprodutos	Peso relativo do potencial de impacto da substância ((Va(i)) (%))
Plástico	0
Graxa	0
Pilhas e Baterias	0
Vidro	0
Sucata de Feltro	0
Lâmpadas	0,00004
Paletes Danificados	0,00005
Óleo Usado	0,003
Borracha	0,007
Papel e Celulose	0,017
Tubetes	0,018
Sucata Metálica	0,019
Bombona Vazia	0,024
Lixo Eletrônico	0,165
Grits	0,668
Cascas de Eucaliptos	1,338
Dregs	1,628
Lodo Primário	8,41
Lama de Cal	10,591
Lodo Secundário	17,382
Cinzas	24,704
Emissões atmosféricas	35,028

Fonte: Autora (2020).

Figura 8. Estrutura de análise hierárquica para ponderação.



Fonte: Autora (2020).

Tem-se na Figura 7 a estrutura de análise hierárquica para ponderação, sendo o objetivo os impactos dos resíduos/subprodutos da produção de papel e celulose, os critérios estabelecidos foram as categorias, sendo os critérios ambientais alterações climáticas, depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, toxicidade humana, formação fotoquímica de oxidantes, formação de material particulado, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha. As alternativas foram os resíduos e subprodutos identificados no processo de produção do papel e da celulose conforme elencados no Quadro 6. Na classificação da ponderação dos impactos conforme Tabela 4 peso relativo do potencial de impacto, os resultados obtidos dos resíduos/subprodutos do plástico (0%), da graxa (0%), das pilhas (0%), baterias (0%), vidro (0%) e sucata de feltro

(0%) tiveram seus percentuais zerados, os resíduos/subprodutos que estão abaixo de um por cento são as lâmpadas com (0,00004%), os paletes danificados (0,00005%), o óleo usado (0,003%), a borracha (0,007%), a celulose e o papel com (0,017%), os tubetes (0,018%), a sucata metálica (0,019%), a bombona vazia (0,024%), o lixo eletrônico (0,165%) e os *grits* (0,668%), já acima de um por cento estão as cascas de eucaliptos (1,338%) e os *dregs* (1,628%), os percentuais se tornam mais elevados a partir do lodo primário (8,41%) e da lama de cal (10,591%), os percentuais mais elevados aparecem nos resíduos/subprodutos das cinzas (24,704%) e das emissões atmosféricas (35,028%). Considerar a ponderação é antes de tudo se obter dados pertinentes de cada processo. A partir do decisor e com o ordenamento estabelecido passou-se a etapa seguinte do cálculo do índice IRDA desenvolvido para a avaliação de desempenho ambiental.

Etapa 4.3 Desenvolvimento do índice

Nesta etapa, foi feita a aplicação da ponderação com o índice IRDA Índice Referente ao Desempenho Ambiental, ferramenta matemática desenvolvida para ser aplicada na ponderação, que fez uma estruturação para tomada de decisão dos referidos potenciais de impactos. Elaborado visando uma medida única em percentual (%) de adequabilidade e aplicabilidade na tomada de decisão. O processo de desenvolvimento do índice Irda foi uma adaptação do índice *Iepa* criado por Rebelato (2018). Neste estudo foi aplicado para mensurar a adequabilidade da destinação final, estabelecendo o coeficiente k_i , com duas variações sendo $k=1$ adequado e $k=0$ inadequado, quanto a destinação dos resíduos e subprodutos na fabricação de papel e celulose.

Fórmula I_{rda}

[2]

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

No qual:

- n = número de resíduos / subprodutos;
- $V(a)_i$ = peso relativo do potencial de impacto da substância i ; para cada i haverá um $V(a)_i$ resultado da aplicação do “*Mind Decider*”.
- $A_{i,j}$ = peso relativo da dispersão geográfica de cada resíduo/subproduto i na categoria j :

$$Ai = \frac{xi \cdot 100}{\sum_{i=i}^n xj}$$

- $x_{i,j}$ = valor tomado em função da dispersão geográfica de cada resíduo / subproduto.
- intervalo de propagação segue a abrangência da escala na Tabela 1, que vai de $x=1$ (local) até $x=5$ (global) identificando os pesos no intervalo de cada categoria.
- $k_{i,j}$ = fator de avaliação categórica da adequação da alocação de resíduos / subprodutos. Se a alocação final for considerada adequada, $k = 1$, significando que os resíduos/subprodutos tiveram uma destinação correta. Se a alocação final for considerada inadequada, $k = 0$, significa que a destinação foi tida como incorreta, e que afeta o meio ambiente.

No qual:

- m = número de categorias de impacto;
 - n = número de resíduos / subprodutos;
 - $V(a)_{i,j}$ = peso relativo do potencial de impacto da substância i na categoria j ;
- [4]

$$V(a)_{i,j} = \frac{li,j \cdot 100}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m li,j}$$

- Ai,j = peso relativo da dispersão geográfica de cada resíduo / subproduto i na categoria j ;
 - b_i = quantidade absoluta anual de cada resíduo e subproduto i ;
 - A_i = Impacto relativo da dispersão de poluentes geográficos de cada resíduo e subproduto.
- [5]

$$Ai,j = \frac{xi,j \cdot 100}{\sum_{i=i}^n \sum_{j=1}^m xi,j}$$

- xi,j = valor obtido de acordo com a dispersão geográfica de cada resíduo / subproduto. Se o intervalo de dispersão for $x=1$, a abrangência é considerada local, mas conforme o ambiente, situação ou organismo afetado de acordo com a Tabela 5, ocorre também um

deslocamento dos critérios utilizados na cobertura geográfica, com escala de dispersão chegando a $x=5$ com abrangência caracterizada como uma afetação global.

- k_i, j = fator de avaliação categórica da adequação da alocação de resíduos / subproduto. Se a alocação final for considerada adequada, $k = 1$. Senão, $k = 0$.

Tabela 5. Critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos.

				Toxicidade Humana Acidificação da terra Eutrofização marinha Ecotoxicidade da água doce Ecotoxicidade marinha		
	Alterações climáticas	Material particulado	Eutrofização de água doce	Ecotoxicidade terrestre	Formação de ozônio fotoquímico	
X_i	5	4	3	2	1	
Abrangência global						Abrangência local

Fonte: ReCiPe (2016).

Em face das informações encontradas neste processo de levantamento de dados, tratamento dos números com a obtenção de resultados, atribuindo valores aos impactos, o índice foi desenvolvido, visando uma medida única de adequabilidade, para os resíduos e subprodutos gerados no processo. O índice desenvolvido acarretará a quantificação e qualificação da dispersão dos impactos seguindo o intervalo de propagação com a abrangência da Tabela 1 que vai de $x=1$ (local) até $x=5$ (global) identificando os pesos no intervalo de cada categoria, com uma seta indicando o deslocamento da abrangência. Para o peso $x=1$ tem-se formação de ozônio fotoquímico, para o peso $x=2$ tem-se toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre, para o peso $x=3$ acidificação da terra, eutrofização marinha e eutrofização de água doce, para o peso $x=4$ material particulado e para o peso $x=5$ têm-se as alterações climáticas. Embora estes critérios não estejam em função de uma organização especificamente, estão mais voltados para as investigações científicas e de pesquisa, para nortear o desenvolvimento de normas e regulamentos ambientais, e como forma

de se comunicar com o público e de servir como parâmetros na gestão ambiental sendo essencial para todo o mundo (ABNT 2014; REBELATO, 2018; LEMKE e BASTINI, 2019).

Etapa 4.4 Aplicação do índice

Esta etapa foi validada com a aplicação do índice IRDA na indústria de papel e celulose, como forma de testar o índice para avaliar o desempenho ambiental e se aprofundar para compreender melhor os fenômenos, e seus potenciais de impactos. A escolha do seguimento se deu em função da indicação da orientação, em função da disponibilidade da organização e por ser representativo na forma de produção, nos volumes e pelos resíduos gerados.

Tabela 6. Resultados de $Va(i)$, $K=i$, índice IRDA e percentual de participação no IRDA geral para empresa do teste.

Resíduo/ subproduto	Peso relativo ($Va(i)$) (%)	Abrangência relativa da emissão = ξ_i	A_i = impacto relativo da dispersão geográfica	Avaliação categórica	IRDA	Contribuição do resíduo para o IRDA
Emissões Atmosféricas	0,35027	5	0,108696	0	0,00000	0,000000000
Cinzas	0,24703	2	0,043478	0	0,00000	0,000000000
Lodo Secundário	0,17382	2	0,043478	1	10,89790	37,24490194
Lama de Cal	0,10591	3	0,065217	1	9,96027	34,04045188
Lodo Primário	0,08409	2	0,043478	1	5,27277	18,02034434
Dregs	0,01628	3	0,065217	1	1,53105	5,232542316
Casca de Eucalipto	0,01338	3	0,065217	1	1,25832	4,300455540
Grits	0,00668	3	0,055556	1	0,18708	0,753522164
Lixo Eletrônico	0,00165	2	0,043478	1	0,10345	0,353550156

Bombona Vazia	0,00024	2	0,043478	1	0,01505	0,051425477
Metal (Sucata Metálica)	0,00019	1	0,021739	1	0,00596	0,020355918
Papel e Celulose	0,00018	2	0,043478	1	0,01129	0,038569108
Tubetes	0,00017	2	0,043478	1	0,01066	0,036426380
Borracha	0,00007	2	0,043478	1	0,00439	0,014999098
Óleo Usado	0,00003	2	0,043478	1	0,00188	0,006428185
Paletes Danificados	0,00000	2	0,043478	1	0,00003	0,000107136
Lâmpadas	0,00000	2	0,043478	1	0,00003	0,000085709
Plástico	0,00000	1	0,021739	1	0,00000	0,000000000
Graxa	0,00000	1	0,021739	1	0,00000	0,000000000
Pilhas e Baterias	0,00000	2	0,043478	1	0,00000	0,000000000
Vidro	0,00000	1	0,021739	1	0,00000	0,000000000
Sucata de Feltro	0,00000	1	0,021739	1	0,00000	0,000000000
	1,00	46	0,99	20	29,3	100,1

Fonte: Autora (2020).

Nesta etapa estão apresentados os resultados do estudo, abrangendo:

Seguindo o processo elaborado na metodologia, apresenta-se na Tabela 2 os resultados dos cálculos dos potenciais de impacto dos resíduos e subprodutos gerados no processo de fabricação de papel e celulose. Na construção desta etapa se utilizou o método ReCiPe (2008) a partir da fonte de geração que é a indústria de produção de papel e celulose, nas categorias de impacto das alterações climáticas, depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água, eutrofização marinha, formação fotoquímica de oxidantes e formação de material particulado, nas categorias a toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha. Identificados os resíduos/subprodutos nas categorias seguiu-se utilizando os volumes de cada resíduo/subprodutos identificados no

processo para os calculados dentro dos valores dado pelo método na hierarquia do ponto médio, obtendo-se o resultado inicial para compor o índice.

Nesta etapa apresenta-se a Tabela 6 com os resultados obtidos com os cálculos do índice IRDA, na primeira coluna estão descritos os resíduos /subprodutos identificados no processo já levantado e exposto no decorrer da pesquisa conforme Quadro 6; na segunda coluna os dados apresentados são os obtidos com os pesos relativos de cada alternativa aplicado no índice, e constatou-se que o resíduo emissões atmosféricas provenientes da queima de cavacos e das cascas de eucalipto nas caldeiras, foi o que se despontou com maior peso relativo no $(Va(i))$ calculado 35,028% (Tabela 6) o que representa para o índice um alto potencial de impacto. O que vem de encontro a um resíduo muito discutido globalmente por causar riscos à saúde humana riscos a flora, a fauna, de chuva ácida e por ser um poluente que pode afetar todos os ecossistemas e interferir no equilíbrio do clima. O N_2 , H_2O e o O_2 não interferiram no potencial de impacto, CO_2 mesmo representando os riscos elencados acima e sendo lançados e na atmosfera, aqui não é calculado por se tratar da queima de biomassa e ter um balanço equilibrado, por ser removidos da atmosfera em novos plantios de eucalipto. O NO_2 , e o SO_2 , foram os elementos que mais contribuíram para elevar a significância do $(Va(i))$ (%) dentro do método, já na abrangência relativa o peso foi mais elevado devido a cobertura geográfica (Tabela 6) atingir a abrangência global, o que veio a elevar também o impacto relativo da dispersão ficando a 0,1086957 e na avaliação da categoria a adequabilidade foi igual a $k=0$ em função dos gases serem lançados na atmosfera, mesmo sendo de fontes fixas e a empresa observando a legislação vigente no país conforme informado pela empresa, uma das ações tomada pela empresa são os precipitadores eletrostáticos para captar o material particulado para reduzir o potencial de impacto, além do plano de controle seguido pela empresa.

O segundo resíduo/subproduto que foi apontado pelo índice são as cinzas provenientes da recuperação do licor preto, dos precipitadores eletrostático e das caldeiras de biomassa elas são ricas em Ca, Na₂, Mg, Si, Al₂, P₂O₅, Fe₂, Mn, K₂, Sr, Cl e SO₃ oferecendo alto percentual nutricional, têm capacidade de neutralizar a acidez, pode ser uma alternativa ao uso de calcário, tem efeito fertilizante e condicionar do solo. Na empresa parte das cinzas são reinseridas para manter as correntes do processo de recuperação, outra parte é usada para recuperação do solo e a maior parte fica depositado no campo aguardando um destino. Devido à empresa não ter necessidade de utilizar tudo o que gera e as cinzas ocuparem grande espaço físico, ela vem buscando parceiros para destinar as cinzas sem que haja nenhum custo do produto (cinzas), o receptor arcar apenas com os custos do transporte. Em função deste encaminhamento o peso relativo do potencial de impacto da substância cinzas o $(Va(i))$ (%) é 24,704% (Tabela 6) aparecendo em segundo lugar com maior potencial de impacto embora as cinzas estejam bem

abaixo das emissões atmosféricas ela se apresenta com potencial de impacto elevado nos cálculos do índice IRDA, o que se atribui a abrangência relativa das emissões, que figurou com peso 2 (dois) na cobertura geográfica dos resíduos onde pode causar a toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre e o impacto relativo da dispersão geográfica é de 0,0434783 em relação ao índice o que representa dentro do processo uma significância mediana dentro do total de cada resíduo/subproduto. A avaliação categórica o resultado é $k=0$ em função da destinação dada as cinzas, o que contribui para elevar o potencial de impacto do resíduo/subproduto.

O terceiro subproduto é o lodo secundário, a massa é composta por C, N, S, P, K, Al, Si, Fe, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni e Zn. Este subproduto é destinado à compostagem sendo integrada ao ciclo do processo e contribuindo ambientalmente para um processo equilibrado. O peso relativo deste subproduto teve uma participação ($Va(i)$) (%) de 17,382% (Tabela 6) despontou também com alta potencial de impacto, em relação a eutrofização de água doce, eutrofização marinha, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, toxicidade humana e ecotoxicidade marinha. Em se tratando da abrangência o peso foi 2 (dois) mostrando-se relevante neste quesito demonstrando sua relevância no impacto relativo da dispersão geográfica, já no impacto relativo da dispersão geográfica apresentou o mesmo resultado mediano dentro do processo. O que tornou a participação deste subproduto com certo equilíbrio foi o resultado da adequabilidade em $k=1$ definido pelo índice IRDA, como fundamental.

O quarto subproduto é a lama de cal rica em Ca, Na₂, Mg, Si, Al₂, P₂O₅, Fe₂, Cr₂, Mn, K₂, Sr, Ba, Co₂, Pb, Zn e Ti, este subproduto tem dois destinos diferentes, parte é destinada a compostagem de viveiro da própria empresa melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e evita a poluição ambiental pela diminuição da carga orgânica, e a outra parte é requeimada nos fornos para retornar ao processo portanto tem participação importante no peso relativo ($Va(i)$) (%) 10,591%, estando entre do índice IRDA, quanto ao impacto relativo da dispersão geográfica sua magnitude foi de 3 (três) o que contribuiu para elevar sua significância dentro do índice, esta abrangência pode causar acidificação da terra, eutrofização marinha e eutrofização de água doce, podendo levar a desequilíbrio ambiental afetando a utilização desejável de um ecossistema e o impacto da dispersão se apresentou bastante representativo dentro do resultado do índice. O contraponto do resultado é relativo à sua destinação que para o índice está dentro da adequabilidade que é $k=1$, sendo desta forma um destino viável para o subproduto.

O quinto subproduto é o lodo primário, sua composição é rica nos elementos As, Be, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Se, Zn, Ni, CN, C₆H₅OH e V este subproduto é destinado para outras empresas de papel e celulose que fabricam papeis considerados menos nobres. O peso relativo

($Va(i)$) (%) dentro do processo representa 8,410%, ainda figurando dentre os mais elevados, sua abrangência relativa foi de 2 (dois) o que se refere aos critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos contribuiu para manter o resultado neste patamar, já o impacto relativo da dispersão geográfica se manteve dentro de um nível mediano para esta avaliação. Quanto a avaliação categórica k_i , houve uma adequabilidade $k=1$ na sua destinação, portanto um destino correto para o subproduto.

O sexto são os *dregs*, subproduto derivado do processo de separação da celulose, e proveniente da clarificação do licor verde, por decantação, ele é rico em Ca, Na₂, Mg, Si, Al₂, P₂O₅, Fe₂, Cr₂, Mn, K₂, Sr, Ba, Co₂, Pb, Zn, Ti e S, este subproduto também é aproveitado para compostagem no canteiro de mudas de eucalipto da empresa e no campo, servindo como corretivos da acidez do solo e assim sendo incorporado no ciclo do processo de produção. Este subproduto teve um peso relativo ($Va(i)$) (%) em 1,628% representando um grande distanciamento dos demais resíduos/subprodutos, mas ainda figura com potencial de impacto dentre do índice. A abrangência relativa da emissão está em 3 (três) isto implica que seu potencial de cobertura geográfica pode causar acidificação da terra, eutrofização marinha e eutrofização de água doce o que contribui para elevar seus resultados dentro do índice, causando um impacto relativo da dispersão geográfica alto. Na avaliação categórica a destinação dada para o subproduto foi adequada deixando o $k=1$, o que só vem a configurar o equilíbrio do resultado dentro do índice.

O sétimo subproduto são as cascas de eucalipto que se desprendem deixando as toras limpas, elas têm dois destinos dentro do processo a parte que se desprende no manuseio no pátio segue para compostagem e as que são retidas no tambor descascador segue para compor a biomassa, elas são ricas em Ca, N, Mg, K e P. No índice o peso relativo ($Va(i)$) (%) foi de 1,338%. A abrangência relativa da emissão = x_i , teve uma participação 3 (três), elevando a participação no índice; pois a cobertura geográfica dos resíduos pode atingir três ecossistemas causando desequilíbrio, e assim o A_i = impacto relativo da dispersão geográfica calculado se torna elevado, mesmo ele tendo uma destinação definida pelo índice IRDA adequada sendo $k=1$.

O oitavo subproduto são os *grits*, são as sujidades sedimentada e removidas no processo de caustificação do licor verde, Ca, Na₂, Mg, Si, Al₂, P₂O₅, Fe₂, Cr₂, Mn, K₂, Sr, Ba, Co₂, Pb, Zn e Ti, este é outro subproduto que é aproveitado para compostagem. O peso relativo ($Va(i)$) (%) e de 0,668%, resultado dado pelo cálculo, seguido por uma abrangência relativa das emissões em 3 (três) o que como relatado vem a elevar a participação do potencial de impacto, pois atinge mais de um ecossistema aumentando a cobertura geográfica dos resíduos, o que contribuiu na sua participação é adequabilidade da destinação.

O nono resíduo é o lixo eletrônico, encaminhado para empresa especializada em reprocessamento, ele é rico em Al, Pb, Ge, Ga, Fe, Sn, Cu, Ba, Ni, Zn, Ta, In, V, Be, Au, Ti e Co. A participação no peso relativo ($Va(i)$) (%) foi de 0,165% para o índice, já a abrangência relativa das emissões são 2 (dois), o que representa que nos critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos pode afetar a toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre. Para a avaliação categórica $k=$, a destinação é adequada o que deixa o $k=1$, portanto, a participação no índice é razoável.

A partir do nono resíduo/subproduto têm-se o papel e celulose, os tubetes, a borracha, o óleo usado, os paletes danificados e as lâmpadas que apresenta uma baixa participação no índice, mais não menos importante, pois trata-se de resíduos/subprodutos gerados no processo de produção do papel e da celulose e consequentemente pode afetar os organismos e os ecossistemas causando toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre, em função da participação na abrangência relativa das emissões ter magnitude 2(dois).

Os resíduos/subprodutos de plástico, graxa, pilhas, baterias, vidro e sucata de feltro tem como resultado do peso relativo ($Va(i)$) (%) 0% igual a zero, e sua participação quanto a abrangência desponta com 1 (um) e 2 (dois), o que tende a ter potencial de impacto mais local de acordo com a Tabela 6 dos critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos, passíveis de afetar na e Formação de ozônio fotoquímico 1(um), e 2 (dois) toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre. A destinação destes resíduos/subprodutos apresentara na avaliação categórica uma adequabilidade $k=1$ o que é a forma correta para uma destinação de resíduos/subprodutos, para o índice.

O Índice Referente a Avaliação de Desempenho Ambiental *Irda*, foi desenvolvido a avaliar o potencial de impacto ambiental indicando se a destinação está adequada ou não dentro da estrutura elaborada. Foi aplicada na indústria de papel e celulose para se obter um percentual único que indique se a destinação final dos resíduos subprodutos está ambientalmente adequada. Considera-se que as ações empregadas pela empresa tem sido condizente com as necessidades ambientais baseadas no resultado que obteve um índice de 29,3, embora o índice mostre que ainda existe impacto ambiental na destinação dos resíduos e subprodutos no decorrer do ano de coleta dos dados, e os resíduos/subprodutos que participaram negativamente foram as emissões atmosféricas e as cinzas que receberam uma avaliação categórica $k=0$ sendo inadequados na sua destinação, e os demais resíduos obtiveram uma destina $k=1$ sendo uma destinação adequada contribuindo positivamente para o índice e fazendo com que seu percentual se mantivesse baixo. Na avaliação de desempenho ambiental da empresa o índice *Irda* apresentou 70,7% das ações tomadas para destinação dos resíduos e subprodutos como

sendo adequadas, com isto tem-se um ângulo de visão da indústria de papel e celulose favorável. Desta forma a empresa pode usar este índice para elaborar seus próximos planos de gestão ambiental tomando como base este resultado para melhorar ainda a gestão dos resíduos. Para tanto considera-se que os resíduos /subprodutos identificados como ambientalmente inadequados devem ser alvo de maiores estudos quanto sua forma de destinação embora atendendo as necessidades legais.

4.5 Implicações Gerais

As implicações desta dissertação tendem a ser positivas para a manutenção dos ecossistemas, pois em função da constatação de um resultado que numere o potencial de impacto é possível buscar por melhorias ainda maiores principalmente deste setor que evoluiu muito na destinação dos resíduos ao longo do tempo e para que venham a causar cada vez menos impactos com processos cada vez mais otimizados. O impacto de melhoria do índice é compreender que embora o índice tenha sido baixo, a empresa deve buscar cada vez mais uma redução no percentual do índice, com isto se aproximará cada vez mais de um sistema de produção ambientalmente correto. Portanto a dimensão desta pesquisa para o setor é ter apontado especificamente o que deve ser melhorado através de um índice.

5 CONCLUSÃO

O seguimento de papel e celulose se apresentou como relevante dado os volumes de resíduos/subprodutos que ele gera no seu processo de produção, e pela demanda crescente do setor. O processo de melhoria contínua para uma destinação menos impactante ambientalmente no setor, evoluiu no decorrer do tempo.

Nos cálculos de potencial de impacto dos resíduos e subprodutos de papel e celulose as emissões atmosféricas e as cinzas apresentam-se com capacidade de causar impacto nas categorias de mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização marinha e formação fotoquímica de oxidantes e formação de material particulado, em função das mesmas serem lançadas no ambiente e no mesmo ocorrerem interações. A categoria que os resíduos/subprodutos não interferiram foi a depleção da camada de ozônio. Nas categorias de toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e na ecotoxicidade marinha são poucos os resíduos/subprodutos que não apresentam potencial de impacto sendo eles a casca de eucalipto, plástico, graxa, vidro, sucata de feltro e as emissões atmosféricas. Na normalização se relacionou o índice desenvolvido IRDA, com os fatores de normalização, as unidades e dimensões e a obtenção dos resultados de cada resíduo/subproduto em cada categoria. A ponderação quantitativa do impacto ambiental relativo entre os critérios e alternativas ambientais, apresentou uma ordem importante do processo, fornecendo o peso de cada resíduo/subproduto dentro do processo de produção. No cálculo do índice IRDA desenvolvido para a avaliação de desempenho ambiental, foram fundamentais o ordenamento definido das entradas para o índice IRDA, figurando como uma ferramenta matemática para avaliação do desempenho ambiental.

As ações desenvolvidas na construção desta pesquisa trazem a informações de que se deve continuar buscando por melhorias embora o setor conte com um vasto processo evolutivo no que toca a proteção ambiental. O desenvolvimento do índice contribuiu para avaliar o desempenho ambiental, indicando os resíduos/subprodutos que devem ser melhor destinados ou passar por processo reestruturação, favorecendo uma gestão ambiental mais otimizada.

O estudo se apresenta com possibilidades de aplicação do índice desenvolvido IRDA, em outros seguimentos com grau de complexidade e de geração de grandes volumes de resíduos/subprodutos. O caminho que pode ser seguido desta pesquisa e a busca do aprimoramento do índice no setor de papel e celulose.

REFERÊNCIAS

ALVES, Érica Daré et al. **Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal**. Revista Liberato, v. 16, n. 26, p. 205-218, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida** – Princípios e estrutura; Rio de Janeiro, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida** — Requisitos e orientações; Rio de Janeiro, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO 14031: **Gestão ambiental: Avaliação de desempenho ambiental** — Diretrizes; Rio de Janeiro, 2004.

ABTCP-Associação Brasileira Técnica de Papel e Celulose (O Setor). Disponível em: www.abtcp.org.br/quem-somos/osetor/o-setor. Acessado em 13/11/2019.

APA. Agência Portuguesa do ambiente - **Critérios gerais para classificação de subproduto**, Lisboa, 2015. Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/Politicar/Residuos/Desclassificacao%20Residuos/CriteriosGeraisClassificacaoSubproduto.pdf Acesso em: 01/01/2020.

Bare, J. C. (2002). **Developing a Consistent Decision-Making framework by Using the U.S. EPA's TRACI**. Cincinnati: Environmental Protection Agency. Recuperado em 27 de junho de 2013, de <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/std/sab/traci/aiche2002paper.pdf>

BASU, Sanghita; ROY, Mousumi; PAL, Parimal. **Greening corporativo em uma grande economia em desenvolvimento: estratégias de prevenção da poluição**. 02/ 2018 Environ Dev Sustain <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0121-3>

BATALHÃO, André Cavalcante da Silva; TEIXEIRA, Denilson; GODOI, Emiliano Lôbo. **A importância das escalas de desempenho no tema atmosfera na estruturação dos resultados do barômetro da sustentabilidade**. 2015.

BATISTA, Taoana Souza. **A indústria de papel e celulose no Brasil: Produtividade, competitividade, meio ambiente e mercado consumidor**. 2018. 40 f. UFU, Uberlândia, 2019.

BARROS, Murillo Vetroni; Salvador, Rodrigo; PIEKARSKI, Cassiano Moro & FRANCISCO, Antônio Carlos. **Uma revisão de planejamento estratégico baseado na perspectiva do ciclo de vida**. LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, v. 3, p. 34364, 2019.

BAUDRY, Gino; MACHARIS, Cathy; VALLEE, Thomas. **Análise multicritério de múltiplos atores com base em intervalo: Um método combinado de análise multicritério de múltiplos atores e simulação de Monte Carlo para apoiar a tomada de decisão participativa sob incerteza**. European Journal of Operational Research, v. 264, n. 1, 2018. p. 257-269.

BELDERRAIN M.C.N., SILVA R.M. **Considerações sobre Modelos de Análise Multicritério de Decisão**, Relatório Técnico nº 01/2005. Departamento de Organização, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP., agosto 2005.

BELTON, V., STEWART, T.J. **Análise de decisão com múltiplos critérios: uma abordagem integrada**. Kluwer Academic Publishers. ISBN 079237505X. 2002

BRANDIE, André Pedrozini; BARLETTE, Vania Elisabeth. **Degradação ambiental: uma abordagem por entropia**. *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, v. 2, n. 1, 2016. p. 161-170.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: D.O. 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 06/2020.

C. C. E. - Comissão Das Comunidades Europeias. Bruxelas, 21.2.2007. COM (2007). **COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO CONSELHO E AO PARLAMENTO EUROPEU**. Relativa a Comunicação interpretativa relativa a resíduos e subprodutos.

CIMINI, Alessio; MORESI, Mauro. Are the present standard methods effectively useful to mitigate the environmental impact of the 99% EU food and drink enterprises?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 77, p. 42-53, 2018.

CORREIA, Flávio Marcelo; D'ANGELO, José Vicente Hallak; JÚNIOR, Francides Gomes da Silva. **Revisitando número Kappa: conceitos e aplicações na indústria de celulose**. *O Papel: revista mensal de tecnologia em celulose e papel*, v. 80, n. 7, 2019. p. 77-89.

COSTA, Roberta Maria. **O papel da supervisão ambiental e proposta de avaliação de desempenho ambiental em obras rodoviárias**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CUNHA, Belinda Pereira da; AUGUSTIN, Sérgio. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais/ org**. Caxias do Sul, RS : Educs, 2014

DE LUCA, Anna Irene; IOFRIDA, Nathalie; LESKINEN, Pekka; STILLITANO, Teodora; FALCONE, Giacomo; STRANO, Alfio; GULISANO, Giovanni. **Ferramentas de ciclo de vida combinadas com critérios múltiplos e métodos participativos para a sustentabilidade agrícola: insights de uma revisão sistemática e crítica**. *Ciência do Meio Ambiente Total*, v. 595, 2017, p. 352-370.

DELAI, Ivete; TAKAHASHI, Sérgio; **Uma proposta de modelo de referência para mensuração da Sustentabilidade corporativa**. *RGSA- Revista de Gestão Social e Ambiental*. V.2, Nº.1, 2008. p.19-40.

DERISIO, JOSÉ CARLOS **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. ed.5, ed. Oficina de texto, 2017.

DENG, Fumin ; JIN Yanan ; YE Meng e ZHENG Shuangyi . **Novo projeto de investimento em ativos fixos Desempenho ambiental e fatores de influência - uma análise empírica no vale da óptica da China**. *Int. J. Environ. Res. Saúde*, 2019 , 16 (24), 4891; <<https://doi.org/10.3390/ijerph16244891>>.

DONAIRE, Denis; **Gestão ambiental na empresa**, 2ª ed. São Paulo, Atlas; 1999, p. 63.

EMUNDS, Ronald Laauser; **Balanço de elementos não processáveis em uma fábrica de celulose**. Campinas, SP, 2010; Dissertação de Mestrado.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. **Análise da estrutura e dos critérios na elaboração de um índice de sustentabilidade**. *Sustentabilidade em Debate*, v. 8, n. 2, p. 30-43, 2017

FRANCIOSI, Chiara; VOISIN, Alexandre; MIRANDA, Salvatore; RIEMMA Stefano; IUNG Benoit. **Medindo os impactos da manutenção na sustentabilidade das indústrias de transformação: de uma revisão sistemática de literatura a uma proposta-quadro**. Elsevier; V. 260, 2020.

FURTADO, José Miguel dos Santos; **Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos**, Junho 2014.

FREITAS, Wesley RS; JABBOUR, Charbel JC. Utilizando estudo de caso (s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. **Revista Estudo & Debate**, v. 18, n. 2, 2011.

GARCÍA-ÁLVAREZ, María Teresa; MORENO, Blanca **Avaliação de desempenho ambiental na UE: um desafio para a sustentabilidade**, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.284

GOEDKOOOP, Mark; HEIJUNGS, Reinout; HUIJBREGTS, Mark; SCHRYVER, An De; STRUIJS, Jaap; ZELM, Rosalie van. **ReCiPe - Um método de avaliação de impacto do ciclo de vida que inclui indicadores de categoria harmonizados no ponto médio e no nível do ponto final**.

GODOY, A.S. **Introdução a pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v.35, n.2, 1995. p.57-63.

GÜNTHER, Hartmut. **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão**. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 22, n. 2, 2006. p. 201-210.

GROEN, Evelyne A.; BOKKERS, Eddie A. M; HEIJUNGS, Reinout; BOER, Imke J.M. de; INCERTEZAS NA ACV. **Métodos para análise de sensibilidade global na avaliação do ciclo de vida**. 11/ 2016 (Scopus).

GUIMARÃES, Celso Eduardo; TEIXEIRA, Cláudia Echevengua; CIRANI, Cláudia Brito Silva; SANTOS, Mario Roberto dos. **Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná**. Desenvolvimento em Questão, v. 15, n. 39, p. 171-202, 2017.

GUINEÉ, J. B. **Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards. LCA in perspective – operational annex to guide**. Netherlands: Centre for Environmental Science, 2001.

GUO, Lingling; QU, Ying; WU Chunyou; GUI, Shusen. **Avaliação de práticas de crescimento verde: evidências empíricas da China**. Sust. Dev., 26: 302 - 319 . doi: 10.1002 / sd.1716 .Publicado 01/2018< <https://doi-org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1002/sd.1716>>

HRDLICKA, Hermann Atila. **As boas práticas de gestão ambiental e a influência no desempenho exportador: Um estudo sobre as grandes empresas exportadoras brasileiras**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HORA, André Barros da; **Panoramas setoriais 2030: papel e celulose**. 2017.

HUIJBREGTS, M.A.J.; STEINMANN, Z.J.N.; ELSHOUT, P.M.F.; VERONES, F.; VIEIRA, M.D.M.; HOLLANDER, A.; ZIJP, M.; VAN ZELM, R. STAM, G. **A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization RIVM Report 2016-0104. ReCiPe 2016**. National Institute for Public Health and the Environment.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores; Relatório Anual 2017. **Indicadores econômicos**. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf> Acessado em 04/04/2019 e 21/12/2019.

ISSA, Isabela I.; PIGOSSO, Daniela CA.; MCALOONE Tim C.; ROZENFELD, Henrique; **Principais indicadores de desempenho ambiental relacionados ao produto: um guia de seleção e banco de dados**. Journal of Cleaner Production, v. 108, p. 321-330, 2015. Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.06.088.

IMPACT World+. What is IMPACT World+?. (2012). Recuperado em 27 de junho de 2013, de <http://www.impactworldplus.org/en/presentation>. Php

JANOTT, Priscila Rizzi; RODRIGUES, Andréia Marize; FERREIRA, Bruna Sousa. **Premissas Para Avaliação De Desempenho Ambiental**. FACEF Pesquisa-Desenvolvimento e Gestão, v. 20, n. 1, 2018.

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

JÚNIOR, Eraldo Antonio Bonfatti; LENGOWSKI, Elaine Cristina; JÚNIOR, Aderbal Ludka. **Mapeamento do processo produtivo de erva-mate**. Revista Internacional de Ciências, v. 8, n. 1, p. 82-98, 2018.

KEMERICH, Pedro Daniel Da Cunha; RITTER, Luciana Gregory; DE BORBA, Willian Fernando. **Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações**. Revista Monografias Ambientais, v. 13, n. 4, p. 3718-3722, 2014. <<http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411>>.

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010; **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acessado em 07 de abril de 2019.

LEMKE, Claudia; BASTINI, Karola. **Abraçando múltiplas perspectivas de desenvolvimento sustentável em uma medida composta: O Índice de Desenvolvimento Sustentável Multinível**. doi-org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2019.118884

LENGOWSKI, Elaine Cristina; MUNIZ, Graciela Ines Bolzon de; NISGOSK, Silvana; MAGALHÃES, Wasghington Luiz Esteves. **Avaliação de métodos de obtenção de celulose com diferentes graus de cristalinidade**. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2013.

LOUREIRO, Eduardo Mayer Monteiro. **Avaliação do Desempenho Ambiental e Sistema de Gestão Ambiental: interfaces e estudo de caso**. 2014. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

MAAS, Stefan; RENIERS Genserik; **Desenvolvimento de um modelo de RSE para a prática: conectando cinco áreas inerentes ao negócio sustentável**. Journal of Cleaner Production. Volume 64, 02/2014, páginas 104-114 <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.039>>.

MAÇANEIRO, Marlete Beatriz; Cunha, Sieglinde Kindl da; Kuhl, Marcos Roberto; & Cunha, João Carlos da. A regulamentação ambiental conduzindo estratégias ecoinovativas na indústria de papel e celulose. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 19, n. 1, p. 65-83, 2015.

MARUTA, Rikio; **Maximizando a produtividade do trabalho do conhecimento: um ciclo PDCA com restrição de tempo e atividade visualizada**. Gerenciamento de conhecimento e processos 19: 203 – 214. 2012.

MARQUES, Marta Inez Medeiros; **Considerações sobre a expansão da indústria de papel e celulose no Brasil a partir do caso da Suzano Papel e Celulose**; Universidade de São Paulo; Geographia – Ano. 17 – Nº 35 - Dossiê – 2015; DOI: 10.22409/GEOgraphia2015.v17i35.a13731.

MELO, Mislaine Fátima dos Santos. **Evidenciação ambiental das companhias abertas de madeira, papel e celulose no Brasil em 2017**. 2018.

MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos**. (Production, 26(1), 160-175, jan./mar. 2016 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.153213>)

MIRANDA, Roselane Estela Dos Santos De. **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**, SEROPÉDICA, RJ, 2008.

MOURAD, Anna Lúcia; SILVA, Henrique Luvison, NOGUEIRA Gomes da Júlio César Batista; **Avaliação do ciclo de vida da produção de materiais de embalagem de celulose: cartão dobrável e papel kraftliner**; V. 19, Edição 4, pp 968–976. 01/2014.

Brasil. **Ministério do Meio Ambiente**; Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/economia-dos-ecossistemas-e-da-biodiversidade/servi%C3%A7os-ecossist%C3%A0micos.html>>; Acessado em 07 de abril de 2019.

— Brasil. **Ministério do meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais>> Acessado em: 04.06.2020.

ODUM, Eugene P.; **Ecologia**; Ed. Guanabara; Rio de Janeiro- RJ, 1988.

OLIVEIRA, Allison Bezerra; PEREIRA, Jesus Marmanillo; NASCIMENTO, Amanda Araújo. **Cadeia produtiva de papel e celulose e transformações recentes no sudoeste maranhense**. InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, v. 4, n. 12, p. 135-154, 2018.

ONU - Organização das Nações Unidas www.un.org. **Organização das Nações Unidas – Brasil**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>> Acessado em 06/01/2020.

PEREIRA, Ana Marta Fopnseca. **Caraterização e valorização do licor negro da indústria da pasta de papel ao sulfito**. 2016. Tese de Doutorado.

PERSONA, Lucas; CORRÊA, Pedro Luiz Pizzigatti; SARAIVA, Antonio Mauro. **Modelagem de Nicho Ambiental em Biodiversidade com Algoritmos Genéticos**. I2TS 2003: proceedings., 2003.

FIGUEIREDO, Paloma Cardoso de; **Construção de uma ferramenta para avaliação de desempenho ambiental de empresas do setor de celulose**, 2018.

PIMENTA, Regina; POGGI, Francesca; FIRMINO, Ana Maria Viegas. **Economia circular como contributo para a implementação de medidas de eficiência energética ao nível dos Municípios/Associações de Municípios**. In: Proceedings of the 25th APDR Congress. Associacao Portuguesa para o Desenvolvimento Regional (APDR), 2018. p. 527-537.

RACHID, Déborah Requena. **Empresas industriais brasileiras que compõem o setor de papel e celulose: múltiplos estudos de caso sobre a forma de utilização dos elementos da gestão ambiental**. 2016.

REIS, Juliano Angeli; SELLITTO, Miguel Afonso. **Avaliação de desempenho ambiental de um fabricante de máquinas**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1589-1599, 2015.

REBELATO, Marcelo Giroto; RODRIGUES, Andréia Marize; THOMAZ, André Gustavo de Brito; SARAN Luciana Maria; MADALENO Leonardo Lucas; OLIVEIRA, Otávio José de. **Developing an index to assess human toxicity potential of sugarcane industry**. Journal of Cleaner Production, v.209, 2019. p. 1274-1284.

REBELATO, M. G. et al. **Environmental performance analysis: foundry industry case report**. Management of Environmental Quality: An International Journal, v. 28, 2017. p. 248-263.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002 Publicada no DOU no 226, de 22 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 85-91; **Gestão de resíduos e produtos perigosos**. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_313.pdf. Acessado em 05 de abril de 2019.

RODRIGUES, Aline Kimberly Almeida. **Indústrias de papel e celulose**. 2018.

RODRIGUES, A. M., Zeviani, C. H., REBELATO, M. G., & BORGES, L. (2015). **Avaliação de desempenho ambiental industrial: elaboração de um referencial metodológico**. Revista Produção Online, 15(1), 101-134, 2015.

ROSÉN, Lars; ERIK, Pär-; SÖDERQVIST Tore; NORRMAN, Jenny; Brinkhoff , Petra; NORBERG, Tommy; VOLCHKO, Yevheniya; NORIN, Malin; BERGKNUT, Magnus; DÖBERL, Gernot ; **PONTUAÇÃO: uma nova abordagem de análise de decisão com vários critérios para avaliar a sustentabilidade da remediação de terras contaminadas**. Ciência do Meio Ambiente Total, v. 511, p. 621-638, 2015.

RUBIRA, Felipe Gomes. **Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental**. Caderno de Geografia, v. 26, n. 45, p. 134-150, 2016.

RYBERG, Morten W.; OWSIANIAK, Mikołaj; RICHARDSON, Katherine; HAUSCHILD, Michael Z. **Development of a life-cycle impact assessment methodology linked to the Planetary Boundaries framework**, Ecological Indicators, v. 88, 2018, p. 250-262, ISSN 1470-160X. doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.065.

SAATY, Thomas L.; **Decision making with the analytic hierarchy process**. International journal of services sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SARUBBI, Michele Puga; DE MORAES, Clauciana Schmidt Bueno. **Avaliação comparativa de metodologias de indicadores para a sustentabilidade urbana**. Cadernos Zygmunt Bauman, v. 8, n. 18, 2019.

SCOPUS – Base de dados Disponível em: <<https://www-scopus-com>> Acessado em 08.06.2020.

SOARES, Danielle Reis. **Economia Circular na Indústria de Celulose tipo Kraft: aproveitamento de resíduos dregs e grits**. PUC-Rio. 2018.

SOARES, Aline Krolow et al. **Composição química e estabilidade dimensional da madeira de três eucaliptos**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, n. 4, 2018.

SELLITTO, Miguel Afonso; BORCHARDT, Miriam; PEREIRA, Giancarlo Medeiros; **Modelagem para avaliação de desempenho ambiental em operações de manufatura**. Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 1, p. 95-109, 2010.

SILVA, Dimas Agostinho et al. **Propriedades da madeira de Eucalyptus benthamii para produção de energia**. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes; OMETTO, Aldo Roberto; GARCIA, Rita Pinheiro; FREIRE Fausto Miguel Cereja Seixas; VARANDA Luciano Donizeti; CHRISTOFORO André Luis. **Life Cycle assessment of wood-based composites: state-of-the-art and opportunities for reducing environmental impacts. Non-conventional Building Materials based on agro-industrial wastes**, p. 143, 2015.

SOARES, Danielle Reis. **Economia Circular na Indústria de Celulose tipo Kraft: aproveitamento de resíduos dregs e grits**. 2018. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

SÖDERHOLM, Patrik, BERGQUIST, Ann-Kristin e SÖDERHOLM, Kristina. **Regulamentação Ambiental na Indústria de Celulose e Papel: Impactos e Desafios**. Curr Forestry Rep 5, 185–198 (2019) doi: 10.1007 / s40725-019-00097-0. 2019.

STUMPF, Uitã Dutra; THEIS, Vanessa; SCHREIBER, Dusan. **Gestão de Resíduos Sólidos em empresas metalomecânicas de pequeno porte**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS, v. 7, n. 2, p. 230-247, 2018.

VIDAL, Diogo Guedes. **Ecoconsciencialização das cidades: Uma emergência global**. Plataforma Barômetro Social, n. 2, p. 1-3, 2018.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L., **Environmental Assessment of Products**. Bontan/Dordercht/London Kluwer Academic Publisehrs. V1 e 2. 1997.

WICKBOLDT, Leandro Araújo et al. **Responsabilidade ambiental ou greenwash: uma análise da evidenciação ambiental das maiores empresas brasileiras**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 5, n. 11, p. 897-910, 2018.

ZANGHELINI, Guilherme Marcelo et al. **Ponderação de categorias de impacto ambiental através de análise de decisão multicritério: Weighting environmental impact categories through multicriteria decision analysis**. 2018.

ZHU, D. HANG, Y.-J. **Avaliação da segurança da água urbana no contexto de sustentabilidade e transições de gestão de água urbana: Um estudo empírico em Xangai**, Volume 275, nº do artigo 122968; 2020