

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS DE SANTA BÁRBARA D'OESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE *BIOCHAR* A PARTIR DE CELULOSE
PARA REMOÇÃO DE AMOXICILINA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO
CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Daniel Luis Garrido Monaro

Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho

**Santa Bárbara d'Oeste,
2019**

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS DE SANTA BÁRBARA D'OESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE *BIOCHAR* A PARTIR DE CELULOSE
PARA REMOÇÃO DE AMOXICILINA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO
CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Daniel Luis Garrido Monaro

Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. Área de Concentração: Gestão e Estratégia.

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente, Energia e Produção Limpa

Santa Bárbara d'Oeste,

2019

DESENVOLVIMENTO DE BIOCHAR A PARTIR DE CELULOSE PARA REMOÇÃO DE AMOXICILINA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DANIEL LUÍS GARRIDO MONARO

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 12 de dezembro de 2019, pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho – PPGE/UNIMEP
Presidente e Orientador

Prof. Dr. Fernando Celso de Campos - PPGE/UNIMEP

Prof. Dr. Milton Vieira Junior - PPGE/UNIMEP

Prof. Dr. Antônio Carlos Luz Lisboa - FEQ/UNICAMP

Prof. Dr. Eduardo Guilherme Satolo - FCE/UNESP

Em primeiro lugar à Deus que me deu a sabedoria necessária para chegar a esta fase em minha vida, assim como proporcionou que as pessoas certas estivessem em meu caminho para este sucesso, e às pessoas que formam o meu núcleo familiar, Luis C. Monaro, Cleuza R. G. Monaro, Renato L. G. Monaro e Marla J. Marinho, que me transformam em uma pessoa melhor a cada dia e contribuíram significativamente neste processo, me mantendo focado e determinado a realizar este sonho.

Dedico

Ao meu amigo e orientador professor Aparecido dos Reis Coutinho por toda a estruturação e foco do trabalho, além das inúmeras horas de investimento do seu tempo com o meu crescimento profissional. Aos meus amigos do laboratório de materiais carbonosos, em especial professor Manoel O. Mendez, que me acolheram nesses anos de trabalho e contribuíram muito para este resultado final e, por todos que direta ou indiretamente colaboraram para a finalização deste trabalho.

Ofereço

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por me dar saúde e força de vontade para conseguir alcançar este objetivo.

Ao professor Aparecido dos Reis Coutinho, pela paciência, orientação, amizade, incentivo e por acreditar em mim desde o início, guiando os passos deste trabalho desde o início.

Aos meus amados pais, Luis Carlos Monaro e Cleuza Ramilha Garrido Monaro, e irmão, Renato Luis Garrido Monaro, por serem meu porto seguro desde o princípio e por manterem meu foco mesmo quando as coisas pareciam não dar certo.

A minha amada esposa, Marla J. Marinho, por todo incentivo e companheirismo durante esta jornada, acompanhando a evolução deste trabalho e sendo uma parceira até a conclusão.

A todos os meus amigos de laboratório que contribuíram diretamente para a realização deste sonho. Em especial à professora Ana Carolina Plens e ao professor Manoel O. Mendez, que dedicaram muito tempo e conhecimento para a conclusão deste trabalho.

Aos professores do PPGEF da UNIMEP, pela amizade, carinho, aprendizado e apoio por todos esses anos, contribuindo diretamente para meu crescimento profissional. Em especial, aos professores André Helleno, Fernando C. Campos e Milton V. Junior por me ajudarem e dedicarem parte do tempo com o meu crescimento profissional.

A UNIMEP como um todo, por tornar tudo isso possível.

E a CAPES, pelo fomento do trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil.

“As bases da sustentabilidade consiste no desenvolvimento humano que deve contemplar um melhor relacionamento do homem com os seus semelhantes e a natureza como um todo” (Nagib Neto).

MONARO, DANIEL LUIS GARRIDO. **DESENVOLVIMENTO DE *BIOCHAR* A PARTIR DE CELULOSE PARA REMOÇÃO DE AMOXICILINA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. 2019. TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA, UNIMEP, SANTA BÁRBARA D’OESTE.

Resumo

O crescimento no desenvolvimento de produtos e serviços visando o bem-estar e conforto social teve influência a partir das revoluções industriais, tanto em relação ao volume de produção, como em relação à variedade de produtos que entraram no mercado. Isso acarretou em um aumento dos impactos ambientais relativos ao sistema de desenvolvimento atual, em que se destaca a poluição das águas. Os poluentes farmacêuticos apresentam influência, pois são contaminantes persistentes quando excretados para o meio ambiente, uma vez que os sistemas de tratamento de águas convencionais são ineficientes para a remoção destes compostos. O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um novo elemento filtrante, na forma de celulose ativada, para a remoção da amoxicilina de águas superficiais a partir da análise do ciclo de vida da celulose. Para atingir os objetivos foi utilizada a avaliação do ciclo de vida de produtos para avaliar os impactos ambientais da celulose ao longo do seu ciclo de vida. Foram separadas amostras em diferentes etapas para serem utilizadas como celulose ativada e aplicadas, em laboratório, para a remoção da amoxicilina, pelo processo de adsorção. Os resultados mostraram que a celulose apresenta eficiência na remoção da amoxicilina chegando a até 90 % de remoção do poluente em alguns ensaios, com a celulose branqueada como a mais eficiente, quando comparada com as celulosas natural e reciclada, apresentando valores entre 70 % e 90 %, podendo ser utilizada como elemento filtrante, o que permite fazer correlações para sua aplicação em larga escala na indústria. Conclui-se que a celulose é uma alternativa viável para a remoção da amoxicilina em águas superficiais, com base nos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: *Biochar*, Adsorção, Desenvolvimento Sustentável, Avaliação do Ciclo de Vida, Amoxicilina, Celulose.

MONARO, DANIEL LUIS GARRIDO. **DESENVOLVIMENTO DE BIOCHAR A PARTIR DE CELULOSE PARA REMOÇÃO DE AMOXICILINA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.** 2019. TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA, UNIMEP, SANTA BÁRBARA D'OESTE.

Abstract

Growth in the products and services development aimed at social welfare and comfort has had a major influence on industrial revolutions, both in terms of production volume and the variety of products that entered the market. This has led to an increase in environmental impacts related to the current development system, in which water pollution stands out. Pharmaceutical pollutants have a great influence because they are persistent contaminants when excreted into the environment, since conventional water treatment systems are inefficient to removal of these compounds. The objective of this work is to develop a new filter element, in biochar form, for amoxicillin removal from surface waters in the cellulose life cycle analysis. To this end, we used the Life Cycle Assessment of products to evaluate the cellulose environmental impacts throughout its life cycle, being separated samples in different steps to be used as biochar to be applied in the laboratory for removal amoxicillin by the adsorption process. The results showed that cellulose has efficiency in the removal of amoxicillin reaching up to 90% of pollutant removal in some trials, with bleached cellulose most ranging between 70 and 90% and can be used as a filter element allowing you to make correlations for your large scale application in the industry. It is concluded that cellulose is a viable alternative for the removal of amoxicillin in surface waters, based on the objectives of sustainable development.

Keywords: Biochar, adsorption, sustainable development, life cycle assessment, amoxicillin, pulp.

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xii
Lista de Siglas	xiv
1 Introdução	1
1.1 Problema da Pesquisa	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo Geral.....	9
1.2.2 Objetivos Específicos	9
1.3 Justificativa e Relevância	9
1.4 Metodologia	11
1.5 Estrutura do Trabalho	14
2 Fundamentação Teórica	17
2.1 Análise Bibliométrica	17
2.2 Desenvolvimento Sustentável	26
2.2.1 Metodologias para o Desenvolvimento Sustentável	35
2.3 Sistemas de Tratamento de Água	45
2.3.1 Indústria Farmacêutica	48
2.3.2 Contaminantes de Terceira Geração (CTG's) – Antibióticos.....	52
2.4 Processo de Adsorção	57
2.4.1 Isotermas de Adsorção.....	60
2.4.2 Adsorção em Leito Fixo.....	63
2.4.3 Materiais Adsorventes	64
2.4.4 <i>Biochar</i>	66
2.4.5 Indústria de Celulose e Papel.....	72
3 Materiais e Métodos	79
3.1 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	79
3.2 Montagem do Sistema Experimental	81
4 Resultados e Discussões	88

4.1 Processo de produção de celulose e papel.....	88
4.1.1 Produção de Celulose Natural.....	90
4.1.2 Produção de Celulose Branqueada e Papel.....	101
4.1.3 Produção de Celulose Reciclada.....	110
4.2 Preparação e desenvolvimento do <i>biochar</i>.....	114
4.2.1 Caracterização das Matérias Primas.....	116
4.2.2 Caracterização do <i>biochar</i>	120
4.2.3 Custo de preparação do <i>biochar</i>	138
5 Conclusões.....	144
5.1 Delimitações da Pesquisa.....	148
5.2 Sugestão de Trabalhos Futuros	149
Referências	150
Apêndice A – Ciclo de Vida da Celulose	177
Apêndice B – Lista de Aspectos e Impactos Ambientais da Celulose Natural.....	178
Apêndice C – Lista de Aspectos e Impactos Ambientais da Celulose Branqueada e Papel	184
Apêndice D – Lista de Aspectos e Impactos Ambientais da Celulose Reciclada.....	209

Lista de Figuras

Figura 1 – O Triple Bottom Line (TBL)	1
Figura 2 – Fases da ACV	3
Figura 3 – Limites Globais da Sustentabilidade	4
Figura 4 – Aumento anual da demanda de água 2005-2030	6
Figura 5 – Esboço geral da estrutura da pesquisa	13
Figura 6: Visão macro da pesquisa.	15
Figura 7 – Quantidade de publicações, durante os últimos 10 anos, das principais temáticas do trabalho.	18
Figura 8 – Quantidade de publicações, durante os últimos 10 anos, das subáreas estudadas	19
Figura 9 – Correlação das palavras chaves da aplicação da PL na indústria de celulose e papel	20
Figura 10 - Correlação das principais palavras chaves da primeira etapa com os poluentes farmacêuticos o processo de adsorção.....	22
Figura 11 – Correlação dos assuntos que mais apareceram correlacionadas com as palavras chaves.....	24
Figura 12 –Periódicos que mais apareceram correlacionados com as palavras chaves estudadas	25
Figura 13 – Evolução da população urbana e rural até 2050	27
Figura 14 – População urbana e rural no Brasil desde 1960	28
Figura 15 – Comparação entre o ciclo biogeoquímico e o ciclo industrial	37
Figura 16 – Correlação entre a EC, DS e os problemas ambientais oriundos do sistema tradicional de desenvolvimento	40
Figura 17 – Critérios de classificação da poluição	41
Figura 18 – Aplicação da ACV e EC em um ciclo de produção.....	43
Figura 19 – Categorias de impactos no Inventário da ACV.....	44
Figura 20 – Abordagem linear “A” e circular “B” para a gestão dos recursos hídricos.....	47
Figura 21 – Representação dos diferentes tipos de poros	61
Figura 22 – Classificação das isotermas de adsorção	62
Figura 23 – Modelo da curva de ruptura em leito fixo	64
Figura 24 – Custo dos diferentes materiais analisados.....	65

Figura 25 – Os benefícios da aplicação do biochar como alternativa no tratamento de efluentes.....	67
Figura 26 – Evolução da produção de celulose e papel no Brasil.....	72
Figura 27 – Evolução no consumo de recursos naturais da matriz energética na produção de celulose e papel.....	75
Figura 28 – Taxa de recuperação de papéis recicláveis	76
Figura 29 – Método para aplicação da ACV no presente estudo.	79
Figura 30 – Etapas do desenvolvimento das etapas de preparação e caracterização do <i>biochar</i> e da adsorção da amoxicilina.	81
Figura 31. Curva de degradação térmica das amostras de celulose ativada. ..	83
Figura 32. Esquema do sistema experimental.	84
Figura 33. Montagem do sistema experimental de adsorção de amoxicilina. ..	87
Figura 34 – Ciclo de produção linear versus sustentável.	89
Figura 35 – Fluxograma simplificado do processo de produção de celulose natural.	90
Figura 36 – Fluxograma da etapa de P&D do processo de produção de celulose natural.	91
Figura 37 - Fluxograma da etapa do viveiro do processo de produção de celulose natural.	92
Figura 38 – Fluxograma da etapa do reflorestamento do processo de produção de celulose natural.	95
Figura 39 – Fluxograma da etapa do colheita do processo de produção de celulose natural.	96
Figura 40 – Fluxograma do processo de produção da celulose natural apresentando as principais entradas e saídas do processo.....	98
Figura 41 – Classificação dos impactos identificados e principais medidas de mitigação para a produção da celulose natural.	99
Figura 42 – Fluxograma da etapa do pátio da madeira do processo de produção de celulose e papel.....	101
Figura 43 – Fluxograma da etapa de cozimento do processo de produção de celulose e papel.	102
Figura 44 – Fluxograma da etapa de lavagem do processo de produção de celulose e papel.	103
Figura 45 – Fluxograma da etapa do remoção da lignina do processo de produção de celulose e papel.....	104

Figura 46 – Fluxograma da etapa do branqueamento do processo de produção de celulose branqueada.	105
Figura 47 – Fluxograma do processo de produção de celulose e papel apresentando as principais entradas e saídas do processo.....	107
Figura 48 – Classificação dos impactos identificados e principais medidas de mitigação para a produção da celulose e papel.	108
Figura 49 – Balanço de massa da utilização de madeira no processo de produção de celulose branqueada.	109
Figura 50 – Processo de produção do papel reciclado.	110
Figura 51 – Fluxograma do processo de produção da celulose reciclada apresentando as principais entradas e saídas do processo.....	112
Figura 52 – Classificação dos impactos identificados e principais medidas de mitigação para a produção da celulose reciclada.....	113
Figura 53 – Montagem do controle de aquecimento do forno elétrico.....	115
Figura 54 – Mapeamento das curvas de aquecimento do forno correlacionando a temperatura com o comprimento.....	116
Figura 55. Curva de degradação da celulose.....	117
Figura 56. Curva derivada de degradação da celulose.	117
Figura 57 - Isotermas de adsorção/dessorção das amostras submetidas à temperatura de ativação de 700°C.....	122
Figura 58 - Isotermas de adsorção/dessorção das amostras submetidas à temperatura de ativação de 800°C.....	123
Figura 59 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de 600 °C.....	126
Figura 60 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de 700 °C.....	127
Figura 61 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de 800 °C.....	128
Figura 62 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas a temperatura de ativação de 600 °C.....	129
Figura 63 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas a temperatura de ativação de 700 °C.	130
Figura 64 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas a temperatura de ativação de 800 °C.	131

Figura 65 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas a temperatura de ativação de 600 °C.	132
Figura 66 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas a temperatura de ativação de 700 °C.	133
Figura 67 - Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas a temperatura de ativação de 800 °C.	134
Figura 68 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em função do tempo até o equilíbrio para as amostras de celulose branqueada preparadas a 600 °C. ...	136
Figura 69 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em função do tempo até o equilíbrio para as amostras de celulose branqueada preparadas a 700 °C. ...	137
Figura 70 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em função do tempo até o equilíbrio para as amostras de celulose branqueada preparadas a 800 °C. ...	137

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Marcos do gerenciamento ambiental.....	30
Tabela 2 – Continuação – Marcos do gerenciamento ambiental.....	31
Tabela 3 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	34
Tabela 4 – Relação homem natureza	36
Tabela 5 – Principais limites, desafios ou oportunidades para a transição para a EC	38
Tabela 6 – Etapas da Estação de Tratamento de Esgoto	45
Tabela 7 – Etapas da Estação de Tratamento de Águas	45
Tabela 8 – Formas de interação dos CTG's de origem da indústria farmacêutica com o meio ambiente	51
Tabela 9 - Propriedades físico-químicas da amoxicilina	53
Tabela 10 – Diferentes ocorrências da amoxicilina em vários meios de dispersão de poluentes	55
Tabela 11 – Diferentes métodos para a remoção da amoxicilina.....	56
Tabela 12. Diferenças entre adsorção física e química.....	59
Tabela 13 – Definição das características da adsorção	59
Tabela 14 – Trabalhos publicados aplicando biochar para o tratamento de efluentes, de uma maneira geral, e poluentes específicos.....	68
Tabela 15 - Processos de pirólise e rendimento do <i>biochar</i>	69
Tabela 16 – Estrutura e divisão do eucalipto, percentuais em peso	73
Tabela 17 – Tipos de resíduos oriundos da indústria de celulose e papel	74
Tabela 18 – Aplicação da ACV na identificação de aspectos e impactos ambientais da indústria de celulose e papel.....	77
Tabela 19 – Padrão da nomenclatura adotada para as amostras utilizadas. ...	84
Tabela 20 – Distribuição e detalhamento das condições dos ensaios executados e da nomenclatura dessas etapas.	85
Tabela 21. Valores calculados da análise imediata em base seca para umidade, voláteis, teor de cinzas e carbono fixo.	118
Tabela 22 - Rendimento em massa das amostras de biochar.	120
Tabela 23 - Parâmetros da estrutura porosa dos biochar preparados.	124
Tabela 24 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em termos percentuais em cada condição preparada no presente estudo.	135

Tabela 25 – Adsorção da amoxicilina para as amostras de celulose branqueada.	138
Tabela 26 – Consumo de gases para produção do biochar.	139
Tabela 27 – Consumo de energia elétrica para a produção do biochar.	141
Tabela 28 – Custo total da produção do biochar.	142

Lista de Siglas

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos
ASE	Área Superficial Específica
BET	Brunauer, Emmet e Teller
CA	Carvão Ativado
CE	Contaminantes Emergentes
CTG	Contaminante de Terceira Geração
DS	Desenvolvimento Sustentável
EC	Economia Circular
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FCA-B	Fibra de Celulose Ativada – Branqueada
FCA-N	Fibra de Celulose Ativada – Natural
FCA-R	Fibra de Celulose Ativada – Reciclada
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
LAIA	Lista de Aspecto e Impacto Ambiental
LMC	Laboratório de Materiais Carbonosos
ODS	Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PL	Produção Limpa
POP	<i>Persistent Organic Pollutants</i>
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
TG	Termogramas

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade vem se incorporando no modo de vida das pessoas, se tornando base das sociedades desenvolvidas em busca do Desenvolvimento Sustentável (DS). Sustentabilidade consiste na integração das questões ambientais, sociais e econômicas na tomada de decisões por parte da sociedade, ou empresa, também conhecida como *Triple Bottom Line* (TBL) (MARTINS; MELO e PATO, 2019), conforme apresentado na Figura 1 (BARBOSA, 2008).

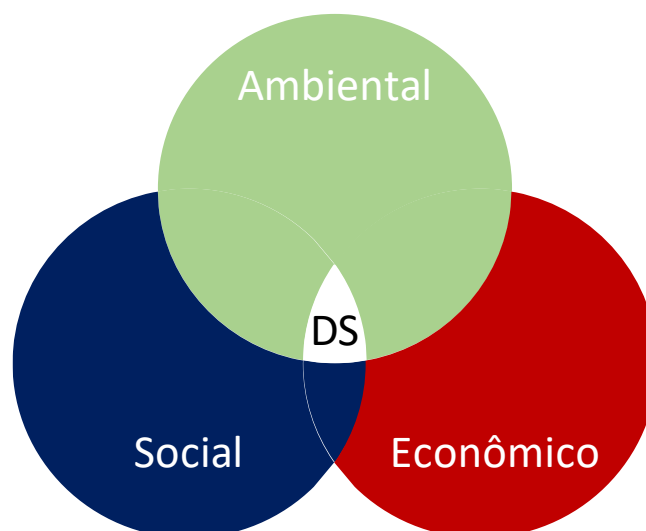


Figura 1 – O Triple Bottom Line (TBL) (adaptado de BARBOSA, 2008).

Essa integração fomenta a busca pelo DS, com base no TBL (ANTOLÍN-LÓPEZ; DELGADO-CEBALLOS e MONTIEL, 2016; ENGERT; RAUTER e BAUMGARTNER, 2016; ARAS; TEZCAN e KUTLU FURTUNA, 2018; IKE *et al.*, 2019), definido e apresentado no relatório de Brundtland (*world commission on environment development*, 1987), como a busca por saciar as necessidades atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações.

Entretanto, apesar do desenvolvimento da sociedade contemporânea ter trazido diversos benefícios visando saúde e bem-estar das populações ao redor do mundo, desencadeou, em muitos lugares, sociedades consumistas. Essas sociedades contribuíram significativamente para algumas das discussões relacionadas ao meio ambiente que passaram a ganhar destaque como escassez de recursos naturais e poluição, devido ao aumento populacional, o que iniciou um processo para repensar o sistema econômico linear adotado (KORHONEN *et al.*, 2018).

Na busca pela aplicação do DS a ONU (Organização das Nações Unidas) definiu 17 objetivos globais (que serão vistos no referencial teórico) a serem atingidos pelo planeta até 2030, chamados de Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), na busca por minimizar os impactos ambientais globais (UNDESA, 2019).

Metodologias foram desenvolvidas para aplicar o DS nas empresas de forma sistêmica, das quais destaca-se a Produção Limpa (PL) como uma das metodologias pioneiras, que consiste na aplicação de uma estratégia integrada e contínua de prevenção dos impactos ambientais relativos aos processos, produtos e serviços (LI e HANBLIN, 2016).

Com o aumento da necessidade de mudança nas empresas, aliadas à aplicação da PL, surgiu a metodologia da Economia Circular (EC) que, segundo Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) e Warodell e Lindholm (2016), se baseou na visão do planeta Terra como um sistema fechado de troca de recursos naturais, no qual os sistemas não devem ser lineares e sim interligados, destinando recursos e resíduos de forma cíclica e contínua.

A partir dessas metodologias, PL e EC, várias ferramentas foram desenvolvidas com o intuito de aplicar o DS nos sistemas de produção e aproximar a temática da sustentabilidade para cada realidade empresarial, como a Avaliação do Ciclo de Vida de produtos (ACV) (ELKINGTON, 2012), avaliação dos impactos ambientais e os indicadores de desempenho ambiental (LI *et al.*, 2019).

A ACV surgiu da necessidade e da busca por estabelecer uma ferramenta para relacionar todas as atividades da empresa, incluindo seus produtos e processos, visando facilitar a análise de seus impactos ambientais. Esta ferramenta analisa todo o ciclo de produção contribuindo com a alteração do ciclo do produto “do berço ao túmulo” para entendê-lo como “do berço ao berço” (CHERUBINI; BARGIGLI e ULGIATI, 2009).

Dentro deste contexto, a ISO 14040 (2006a) apresentou uma estrutura em que uma ACV deve ser estabelecida, conforme Figura 2.

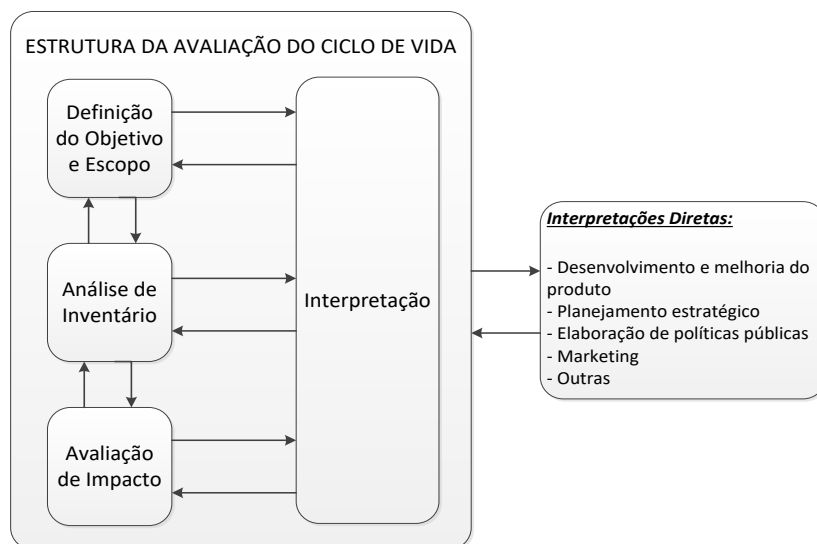


Figura 2 – Fases da ACV (adaptado de ISO 14040, 2006a).

No contexto da ACV, o produto passa a ser o elemento principal de estudo em uma empresa para se entender suas principais características, funcionalidades e interações ambientais durante seu ciclo de vida. Para a aplicação da ACV, se define: primeiro, o objetivo e escopo do estudo a ser realizado, o que vai nortear todo o estudo e direcionar as ações que serão tomadas; em seguida se faz o levantamento de todas as entradas e saídas do ciclo de vida do produto, mapeando em quais fases se têm os principais resíduos; a partir disso, se faz uma avaliação dos impactos ambientais potenciais para o meio ambiente; e se interpreta esses resultados, para buscar soluções para os impactos ambientais identificados e por produtos substitutos.

A diversidade de produtos presentes no mercado, assim como a cadeia logística necessária para a chegada das matérias primas e a destinação dos produtos em fim de vida, faz com que a aplicação da ACV seja um processo complexo e importante, na busca pela redução dos impactos ambientais das atividades humanas.

Desta forma, iniciativas que desenvolveram processos ou recursos que permitam o debate e a construção de diferentes caminhos para um futuro sustentável estão sendo alvo das discussões em direção à uma sociedade mais sustentável (HALME e LAURILA, 2009; SMITH *et al.*, 2014).

Partindo da regra primordial de que a natureza tende sempre ao equilíbrio, qualquer alteração no balanço de massa ou energia em um ecossistema,

desencadeia reações em busca da sua manutenção. Nesse sentido, o ser humano vem causando severas alterações no seu modo de vida e consumo ao longo do tempo, devido a elevação na quantidade de indivíduos de sua espécie, de tal forma que passou a alterar o equilíbrio do planeta.

Essas alterações passaram a ter proporções globais, gerando uma série de consequências que passaram a preocupar os pesquisadores ao redor do mundo. Rockstrom *et al.* (2009) e Steffen *et al.* (2015) listaram dez limites globais que estão próximos de serem ultrapassados pelo sistema de desenvolvimento humano, passíveis de interferirem nas economias e empresas ao redor do mundo (KPMG, 2012), conforme apresentado na Figura 3.

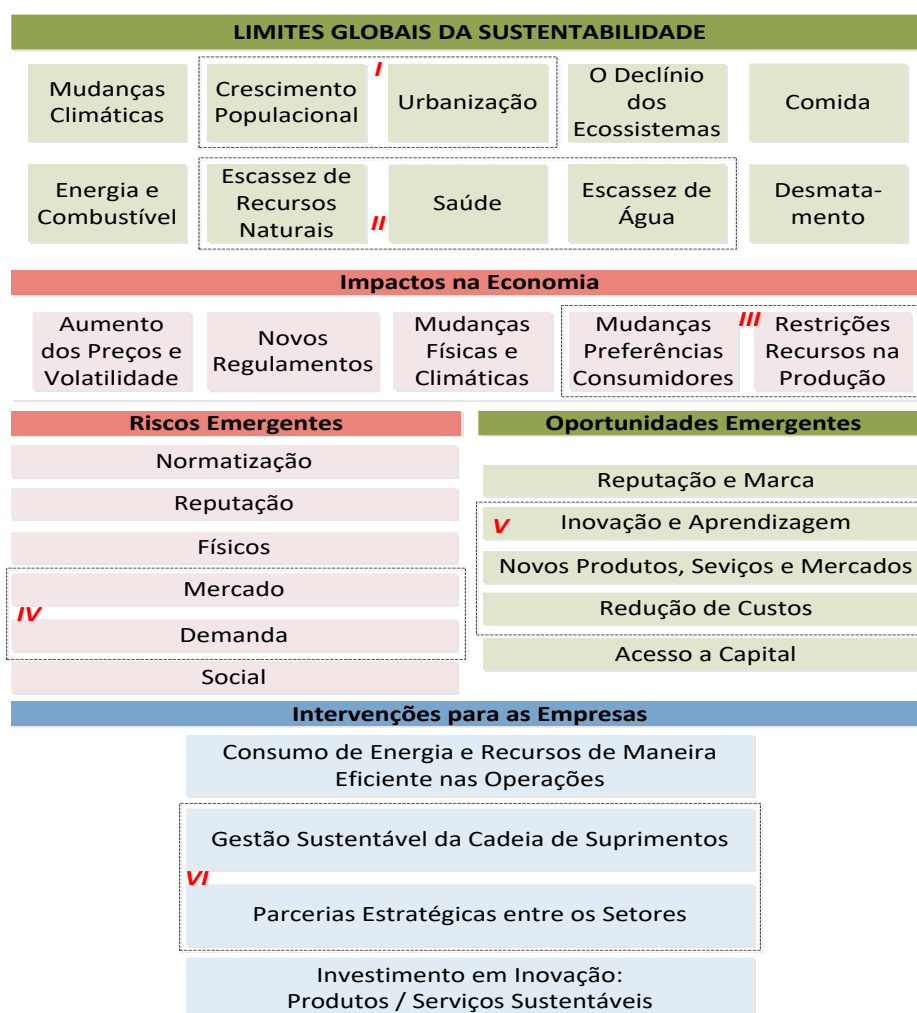


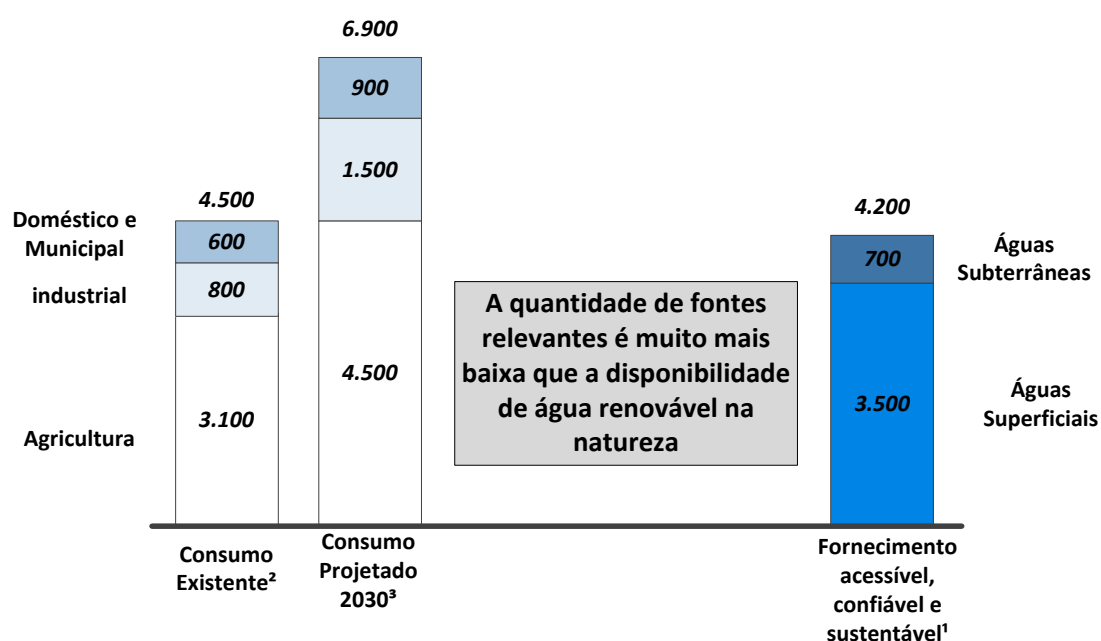
Figura 3 – Limites Globais da Sustentabilidade (adaptado de ROCKSTROM *et al.*, 2009; KPMG, 2012; STEFFEN *et al.*, 2015).

As etapas foram organizadas por tópicos, algarismos romanos, para facilitar a discussão dos limites planetários globais e seus impactos para as sociedades e as empresas, tal que destacam-se:

- I. O crescimento populacional e o processo de urbanização ao redor do mundo são apontados como os precursores dos demais limites globais em discussão, pois desde 1800 há uma curva ascendente desses fenômenos aumentando a população humana no planeta de 1 bilhão de habitantes para quase 8 bilhões de habitantes em 2018, estimando-se chegar em 9 bilhões em 2030 (UNITED NATIONS, 2018);
- II. Com a aglomeração das pessoas em cidades, outros problemas ambientais começaram a aparecer como a escassez de recursos naturais e água, devido aos problemas de saneamento que as cidades ao redor do mundo enfrentam. Esses fatores contribuem para uma piora na saúde das pessoas, principalmente em países em desenvolvimento, devido a dificuldade para o abastecimento de água potável e alimentos (ROCKSTROM *et al.*, 2009);
- III. Aliado a isso, gera-se também impactos na economia de uma maneira geral, sendo perceptiva uma mudança nas preferências dos consumidores, em diversas partes do mundo, favorecendo produtos com selo verde, ou mais sustentáveis. As empresas buscaram alternativas para adaptar os sistemas de produção devido às mudanças legais e restrições nos recursos de produção (KPMG, 2012);
- IV. Essas mudanças trouxeram riscos emergentes dos quais destacam-se a mudança do mercado e da demanda dos produtos e serviços na busca por atender consumidores conscientes;
- V. Trouxeram oportunidades emergentes, como a inovação ambiental que permitiu a criação de novos produtos e serviços para novos mercados, além de se estudar o ambiente de produção na busca pela redução de custos;
- VI. O que tem resultado em intervenções nas empresas que aplicam a sustentabilidade em seus processos de produção, por meio da gestão sustentável da cadeia de suprimentos e a busca por parcerias estratégicas para a aplicação de ações sustentáveis.

Com base nesse cenário, a questão da falta de água potável para abastecimento humano surge como um dos principais problemas a serem discutidos na busca pelo DS. Essa falta de água em uma região pode ter várias origens destacando a questão da poluição dos mananciais pelas atividades humanas e a falta de saneamento básico, que torna imprópria para o consumo humano parte das águas superficiais presentes no continente e das águas subterrâneas dependendo das características da região (EPA, 2006).

Segundo a UNEP (*United Nations of Environmental Programme*, 2016) o aumento da pressão sobre o abastecimento de água no mundo ameaça afetar, nos próximos anos, diversos setores industriais e o abastecimento das populações, conforme apresentado na Figura 4.



1 - Fornecimento existente que pode ser fornecido a 90% de confiabilidade, com base em investimentos históricos de hidrologia e infraestrutura realizados em 2010.

2 - Com base em análises de produção agrícola do IFPRI, 2010.

3 - Com base no PIB, projeções populacionais e projeções de produção agrícola do IFPRI; Não considera ganhos de produtividade de água entre 2005-2030.

Figura 4 – Aumento anual da demanda de água 2005-2030 (em m³) (adaptado de WATER RESOURCE GROUP, 2009).

A demanda de água doce, a partir de fontes acessíveis e confiáveis, não tem capacidade de abastecer as populações atuais, sendo observada a falta de água potável em diversas partes do mundo. Com o aumento populacional, aumenta-se a previsão de consumo de água, projetando cerca de 45 % de aumento para o setor agrícola, 87 % para o setor industrial e 50 % para o setor doméstico e municipal para o ano de 2030.

Estima-se que a demanda mundial de água doce vai exceder a oferta mundial em 40% até o ano de 2030, ou seja, considerando o crescimento econômico médio e sem nenhum ganho em termos de eficiência, em 2030 será necessária uma oferta de água 40% superior do que se tem atualmente no planeta. A crescente demanda por água é impulsionada pelo crescimento da população, o aumento da industrialização nas economias emergentes, tais como a China, e a urbanização, tal que conforme a Figura 4, os três principais tipos de consumo de água consistem em agricultura, indústrias e abastecimento doméstico.

No Brasil, segundo o *Water Resource Group* (2009), apenas o estado de São Paulo possui uma demanda projetada para 2030 de 20,3 bilhões de m³, dividida entre as necessidades domésticas, industriais e agrícolas, que contrastam com um fornecimento acessível e confiável de 18,7 bilhões de m³ atualmente. Quase 80% desta demanda corresponde à região metropolitana de São Paulo com uma população projetada de 35 milhões de pessoas em 2030. Fato agravado devido a poluição da região, exigindo que mais de 50% do fornecimento atual para a região sejam transferidas de bacias em cidades vizinhas.

Aliado ao consumo e a poluição ocasionada pelos resíduos residenciais e industriais, há também a contaminação das águas por poluentes complexos para serem tratados pelos sistemas de tratamento convencionais, como os Contaminantes de Terceira Geração (CTG's). Esses poluentes agravam o abastecimento de água nas cidades devido ao fato de a maioria dos sistemas de tratamento de águas tradicionais não possuírem processos específicos para a remoção desses contaminantes nas águas superficiais (EPA, 2012).

Ainda segundo a EPA (2012), os CTG's são substâncias químicas tóxicas que afetam negativamente a saúde humana e o meio ambiente, apresentando a característica de serem de difícil degradação. CTG's consistem em substâncias químicas produzidas diretamente, como os policlorados que são utilizados em diversas aplicações industriais, ou indiretamente como as dioxinas formadas nos processos industriais diversos ou pela combustão. Possuem a característica de serem transportados pelo vento e pela água, de tal forma que a maioria dos CTG's gerados em um país afeta as pessoas e animais longe de suas fontes, além de serem persistentes por longos períodos de tempo no ambiente e se acumularem no ecossistema.

Dentre os CTG's, destacam-se os antibióticos que são desenvolvidos para serem resistentes aos seres patogênicos, devido à sua aplicação, resultando em um problema a saúde das populações por persistirem no meio ambiente (REIS FILHO; LUVIZOTTO-SANTOS e VIEIRA, 2007).

A amoxicilina, um dos principais antibióticos utilizados no mundo, se destaca pela sua larga aplicação na sociedade e, segundo Pubchen (2017), pelo fato de parte deste fármaco, até 70%, ser excretado com estrutura inalterada para o meio ambiente após a ingestão.

A amoxicilina consiste em um dos antibióticos mais usados para o tratamento de infecções humanas e animais de tal forma que as águas que contêm esse tipo de poluente necessitam ser tratadas por um processo eficiente para a proteção da saúde humana e o meio ambiente (YAGHMAEIAN; MOUSSAVI e ALAHABADI, 2014).

Estudos visando identificar maneiras para a retirada desses contaminantes têm aumentado gradativamente, nos quais se destacam os estudos que buscam aplicar a adsorção por meio de materiais adsorventes, que apresentam diferentes características e eficiência, variando a condição de preparação e as características dos materiais. Para uma eficiente adsorção, o material adsorvente é fundamental, pois suas características e meios de ativação contribuirão tanto para o processo de adsorção como para o desenvolvimento de um ciclo sustentável para a adsorção (AHMED *et al.*, 2019).

1.1 Problema da Pesquisa

A presente pesquisa discute à ineficiência dos sistemas tradicionais de tratamento de CTG's em águas superficiais e o aumento no consumo desses fármacos pela sociedade, o que acaba agravando indiretamente os problemas de saúde da população, devido ao consumo de elementos persistentes que não deveriam estar nas águas superficiais.

A partir destes contextos, surge a questão: como desenvolver um novo elemento filtrante, na forma de *biochar*, que contribua para a remoção da amoxicilina em águas superficiais?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um novo elemento filtrante, na forma de celulose ativada, para a remoção da amoxicilina de águas superficiais a partir da análise do ciclo de vida da celulose.

1.2.2 Objetivos Específicos

Especificamente, o presente trabalho busca:

- Realizar um mapeamento da cadeia de produção da celulose a partir da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do produto;
- Desenvolver carvões ativados de origem vegetal a partir da ACV da celulose, visando identificar etapas para a retirada de matérias primas a serem utilizadas para a remoção da amoxicilina em águas superficiais;
- Comparar os elementos filtrantes viáveis a partir de indicadores de desempenho relativos ao impacto ambiental do processo, custo de preparo do material e eficiência do elemento de filtração;
- Avaliar a eficiência de adsorção da amoxicilina a partir da preparação do *biochar* em diferentes etapas do ciclo de vida da celulose.

1.3 Justificativa e Relevância

Os limites planetários mostram uma correlação entre a escassez de recursos naturais e o aumento da população humana desde os dois últimos séculos, fato que se agravou devido aos novos níveis de escassez de elementos essenciais, tais como água, energia, produtos florestais e minerais que resultaram em uma volatilidade nos preços desses recursos.

Pode-se destacar a correlação da emissão de poluentes e a escassez de água potável, visto que a contínua emissão sobrecarrega as águas superficiais continentais que já afetam a qualidade dos ecossistemas marinhos. Aliado à

isso, os fármacos se destacam pelo fato de 50 % a 90 % ser excretado por um ser vivo inalterado após o consumo (MULROY, 2001; AKSU e TUNÇ, 2005).

Indústrias intensivas com relação ao uso da água, das quais destacam-se a farmacêutica e de celulose, serão vulneráveis à escassez de água, o declínio na sua qualidade e a volatilidade dos preços (KPMG, 2012). Tais questões impulsionam uma nova abordagem da gestão da cadeia de suprimentos, originando um novo paradigma a ser estudado.

Esse novo paradigma do sistema de produção redesenha todo o fluxo de materiais e informações, uma vez que as matérias primas passam a dividir a atenção, na cadeia de suprimentos, com os resíduos que saem do sistema de produção.

Os aspectos ambientais de entrada integram as ações da empresa, em termos de sustentabilidade, com os aspectos ambientais de saída, de tal modo que não há a possibilidade de um sistema de produção descartar seus resíduos em desacordo com as legislações ou questões éticas, sem ter problemas com a sua imagem perante seus *stakeholders*, ou seja, suas partes interessadas.

Este trabalho se justifica, pois o mapeamento do processo de produção da celulose com base no contexto do DS viabiliza o desenvolvimento de novos elementos filtrantes para a remoção de CTG's que não são removidos nos sistemas de tratamento de águas convencionais. Além disso, esses novos elementos filtrantes podem contribuir para a redução dos impactos ambientais dessa cadeia de produção.

Mais especificamente, com base nos ODS, este trabalho contribui para os seguintes objetivos:

- Busca uma alternativa para contribuir com a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos;
- Contribui com a busca por cidades mais sustentáveis, propondo a utilização de celulose reciclada para a adsorção de poluentes persistentes;

- Apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de uma alternativa para os resíduos de celulose na busca por um processo de produção sustentável;
- Contribui na busca por propor uma nova abordagem do ciclo de produção de um produto para a redução de poluentes em águas superficiais que, conseqüentemente, impactam os oceanos.

Portanto, este trabalho está pautado em uma análise multidisciplinar, envolvendo as seguintes áreas do conhecimento:

- Engenharia de produção – com base na área de operações e processos da produção, estudou a área de gestão de sistemas e operações da produção para o mapeamento das atividades da indústria de celulose e papel. Com relação a área de sustentabilidade, aplicou conceitos de gestão ambiental e PL com foco na aplicação do DS.
- Engenharia ambiental – correlacionou o sistema mapeado e suas interações com o meio ambiente, apontando os aspectos e impactos ambientais, além de propor medidas de mitigação;
- Engenharia química – com relação ao desenvolvimento de materiais capazes de contribuir com o tratamento de águas residuais, na busca por aplicar a química verde.

1.4 Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho teve duas partes bem delimitadas que formaram a base para as discussões e conclusão.

Em um primeiro momento, foi realizada uma pesquisa de campo seguida de entrevistas não estruturadas com base em 3 empresas de produção e reciclagem de celulose e papel para identificar a cadeia de produção a ser estudada e, a partir disso, se iniciar o mapeamento de suas atividades apontando suas interações com o meio ambiente por meio da aplicação da ferramenta da ACV.

Em seguida, foram identificadas etapas do ciclo de produção da celulose para a retirada das matérias primas que seriam a base de estudo para a segunda etapa da pesquisa.

Na segunda etapa, as matérias primas selecionadas foram preparadas e caracterizadas em laboratório para serem utilizadas como elemento filtrante da amoxicilina em água.

A parte experimental do presente trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Materiais Carbonosos (LMC) na Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) no *campus* de Santa Bárbara d'Oeste. De uma maneira geral, a estrutura do trabalho foi dividida em:

- Quanto a sua natureza – considerando o tema abordado, a natureza da pesquisa foi aplicada, que teve como intuito gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas, determinando os meios pelos quais se pode desenvolver e aprimorar produtos, processos ou sistemas, com vistas à satisfação de uma necessidade específica e reconhecida;
- Quanto aos objetivos – a pesquisa foi classificada como exploratória, uma vez que buscou identificar um problema da indústria e, a partir de uma correlação entre diferentes conceitos aplicar, via sistema experimental, testes para a sua solução, buscando alinhar diferentes condições para se obter os resultados;
- Quanto a abordagem – a pesquisa seguiu uma abordagem combinada, uma vez que trouxe aplicações de metodologia experimental seguida de uma correlação conceitual entre três áreas da engenharia (produção, química e ambiental) com objetivo de traduzir números em informações, as quais foram classificadas e analisadas com base no problema identificado.

A Figura 5 apresenta um esboço geral da estrutura da pesquisa, destacando o foco central, as correlações propostas, as ferramentas utilizadas e os indicadores que foram base para as discussões, sendo destacados também os objetivos específicos.

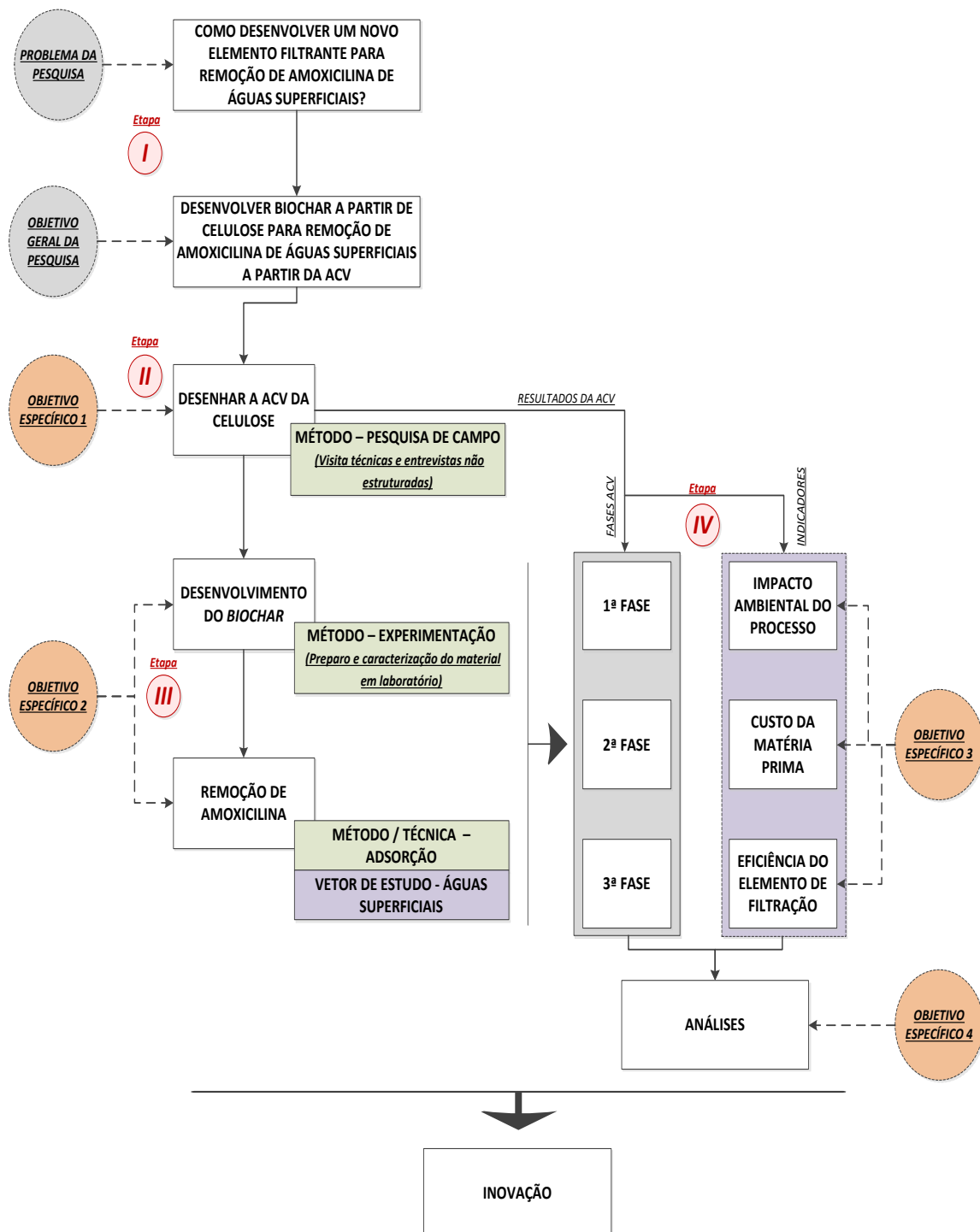


Figura 5 – Esboço geral da estrutura da pesquisa (compilado pelo próprio autor).
 Detalhando as etapas desenvolvidas, o presente trabalho foi assim elaborado:

- I. A primeira etapa da pesquisa consistiu na delimitação do seu foco, a partir do problema de pesquisa e a definição dos seus objetivos. Nessa etapa, foi decidido pelo desenvolvimento de um novo elemento filtrante para contaminantes de terceira geração em águas superficiais, a partir do estudo do ciclo de vida de um material específico. Definiu-se por identificar

em qual etapa desse ciclo de vida a matéria prima apresentaria uma melhor característica para a remoção do poluente no contexto do DS;

- II. Na segunda etapa, foi decidida a ferramenta utilizada para o mapeamento do processo e a matéria prima estudada. Decidiu-se pela utilização da ferramenta da ACV, devido a visão sistêmica do processo a partir da sua aplicação, destacando as interações do ciclo de vida do produto com o meio ambiente. Nesta etapa, foram desenvolvidas as pesquisas de campo para o mapeamento do processo de produção, utilizando como método de pesquisa visitas técnicas a três empresas de grande porte do setor, seguidas das entrevistas. Após isso, foram definidas em quais etapas do ciclo de vida da celulose ela seria retirada para ser utilizada como material adsorvente, identificando três etapas do seu ciclo de vida como ideais;
- III. Nesta etapa, o procedimento experimental foi elaborado visando preparar e caracterizar as amostras de celulose na forma de *biochar* para a remoção de amoxicilina no vetor de estudo, águas superficiais. Nesta etapa, elaborou-se a metodologia utilizada para a adsorção do poluente, além de se preparar as soluções com o poluente específico e realizar os ensaios de adsorção;
- IV. Na quarta etapa os indicadores foram analisados visando comparar as diferentes matérias primas estudadas com relação ao impacto ambiental da sua cadeia de produção, o custo para obtenção do material e a eficiência na adsorção da amoxicilina.

A partir do mapeamento do estudo, foi estruturado o trabalho e definidas as macro áreas para o seu desenvolvimento.

1.5 Estrutura do Trabalho

A partir da definição do problema da pesquisa, dos objetivos e do mapeamento geral da metodologia, o presente trabalho seguiu a estrutura apresentada na Figura 6.

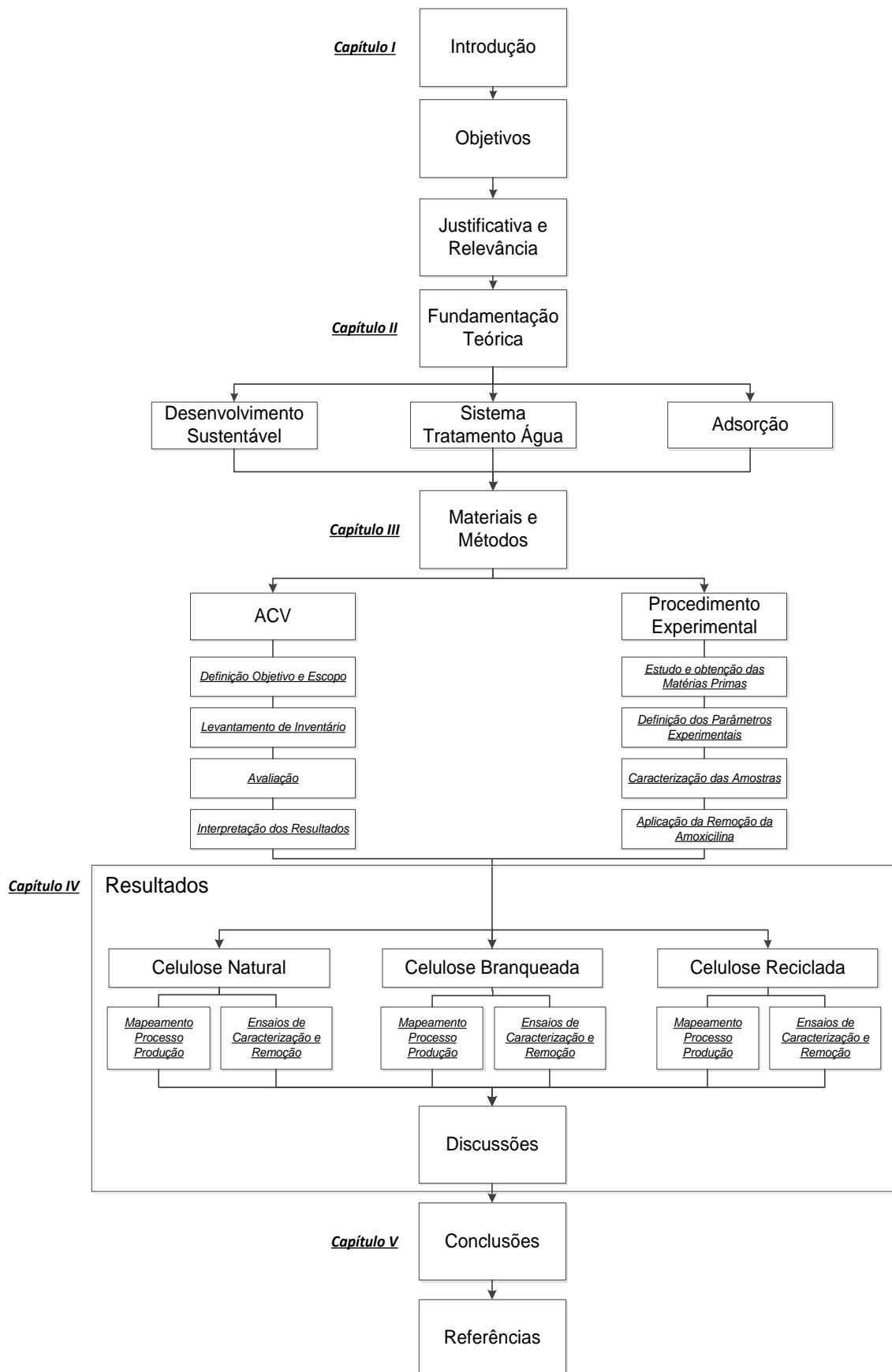


Figura 6: Visão macro da pesquisa.

A estrutura do presente estudo teve início a partir da definição da problemática de pesquisa e posterior alinhamento a respeito de possíveis trabalhos nesse ramo de estudo. Definidos o problema e as correlações ambientais necessárias, a etapa seguinte consistiu em definir o material a ser estudado, chegando na celulose, e os objetivos do trabalho (gerais e específicos). Com a estrutura inicial mapeada, foi elaborado o referencial teórico e definidos os materiais e métodos para se chegar aos resultados e discussões e, posteriormente, as conclusões da pesquisa realizada. Este trabalho está dividido em capítulos:

Capítulo 1 – Introdução – são apresentados a importância do trabalho, justificativa, as questões norteadoras da pesquisa, os objetivos que direcionam todo o estudo, a metodologia geral e a visão macro do trabalho.

Capítulo 2 – Referencial Teórico – está dividido em subcapítulos que abordam os temas que dão suporte para a interpretação, análise, discussão dos resultados e para as conclusões finais, como: desenvolvimento sustentável, ACV, EC, a relação dos CTG's com o meio ambiente, os meios de tratamento de águas com foco no processo de adsorção de poluentes por carvões ativados, o poluente específico, amoxicilina, e a preparação de carvões ativados.

Capítulo 3 – Materiais e métodos – é apresentada a estrutura metodológica em que são descritos os métodos e materiais utilizados para obtenção e análise dos dados e o delineamento experimental para as comparações dos materiais adsorventes.

Capítulo 4 – Resultados – apresenta os resultados e as discussões a respeito do ciclo de vida da celulose e dos dados experimentais realizados, visando solidificar as proposições realizadas no início do trabalho.

Capítulo 5 – Considerações finais – foi realizada uma discussão final sobre as questões levantadas com o decorrer do trabalho, considerando desde a problemática proposta, passando pelos objetivos do trabalho, a metodologia utilizada e a correlação entre os dados coletados com as informações apresentadas por outros autores na revisão bibliográfica.

Capítulo 6 – Referências – São apresentadas as referências dos trabalhos utilizados no presente estudo em ordem alfabética.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo são apresentadas as fundamentações que embasaram o desenvolvimento desta pesquisa, abordando a temática do desenvolvimento sustentável, na busca por identificar alternativas para a minimização dos impactos ambientais do sistema de desenvolvimento atual. Estudou-se a relação dos sistemas de tratamento de águas e o processo de adsorção para fundamentar conceitualmente a preparação do *biochar* para remoção da amoxicilina.

2.1 Análise Bibliométrica

O primeiro passo da fundamentação consistiu na análise bibliométrica a fim de se estudar as temáticas abordadas no presente trabalho com relação as suas publicações na comunidade científica. Para isso, foi definida uma base de dados a ser estudada e as palavras chaves foram cruzadas, mapeando as publicações nos últimos 10 anos.

O primeiro passo foi definir as palavras-chave a serem pesquisadas: “*Life Cycle Assessment*” (Avaliação do Ciclo de Vida), “*Biochar*” (carvão de origem vegetal), “*Pulp and Paper Industry*” (Indústria de Celulose e Papel), “*Adsorption*” (Adsorção), “*Activation Carbon*” (Carvão Ativado), “*Pharmaceutical Effluent*” (Efluente Farmacêutico), “*Amoxicilin*” (Amoxicilina) e “*Persistent Pollutants*” (Poluentes Persistentes).

Essas palavras foram propostas após a definição do problema de pesquisa, dos objetivos do estudo e da metodologia geral mapeada. Foi utilizada a base de dados “*Science Direct*” e os parâmetros para as análises foram: quantidade de publicações, ano de publicação, palavras chave, por “*journal*” (periódico) e tópicos correlacionados.

Inicialmente, foi analisada a evolução das publicações a respeito das principais temáticas presentes neste trabalho. A Figura 7 apresenta as publicações encontradas, em termos quantitativos, nos últimos 10 anos a partir das palavras chaves “LCA”, “*biochar*”, “*pulp and paper industry*” e “*adsorption*”.

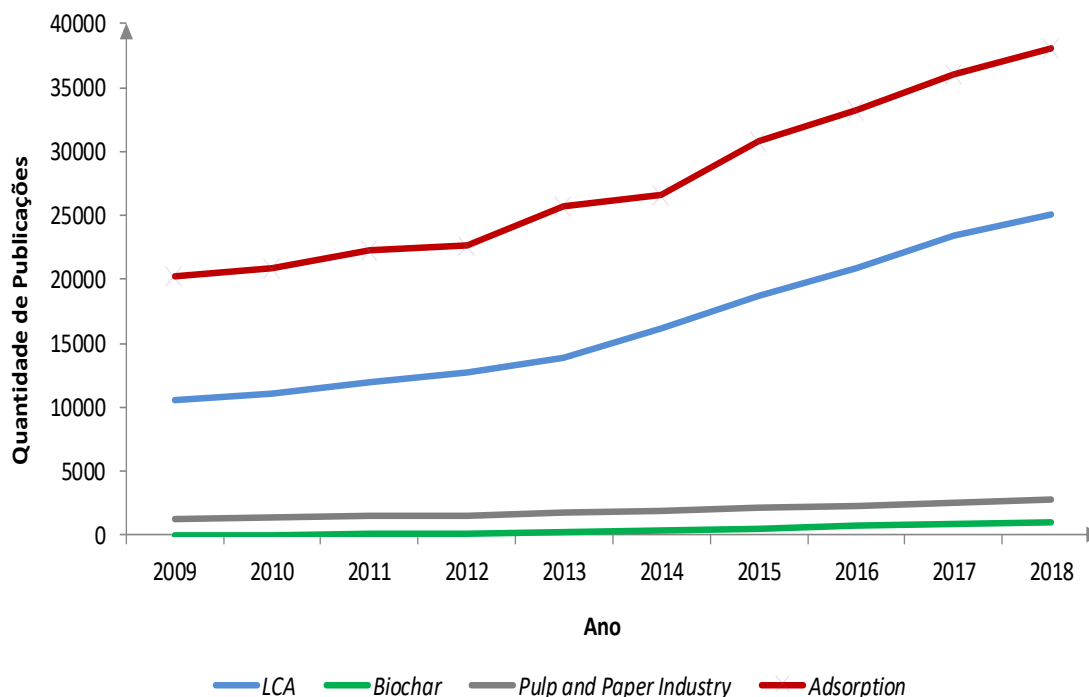


Figura 7 – Quantidade de publicações, durante os últimos 10 anos, das principais temáticas do trabalho (compilado pelo próprio autor).

É possível observar que, das quatro temáticas centrais, a adsorção se destaca apresentando um crescimento significativo com relação a quantidade de publicações, seguida pelos estudos de ACV. Isso ocorre devido as temáticas serem amplas, sendo mapeados, em um primeiro momento, qualquer trabalho encontrado dentro dessas áreas.

Destaca-se a curva crescente dessas duas temáticas, o que incentivou a continuidade na busca por uma lacuna para este estudo. Com relação aos estudos sobre “*biochar*”, foi encontrada uma quantidade baixa de publicações para o período, se comparada com a curva do termo “*adsorption*”.

Este fato despertou certo interesse, pois apesar das quantidades de estudos sobre a adsorção de poluentes, poucos estudos utilizaram o “*biochar*” como material adsorvente.

Em seguida, foram estudadas as temáticas mais específicas do presente estudo, uma vez que as mesmas começaram a direcionar as discussões a respeito da aplicação prática do trabalho, conforme apresentado na Figura 8.

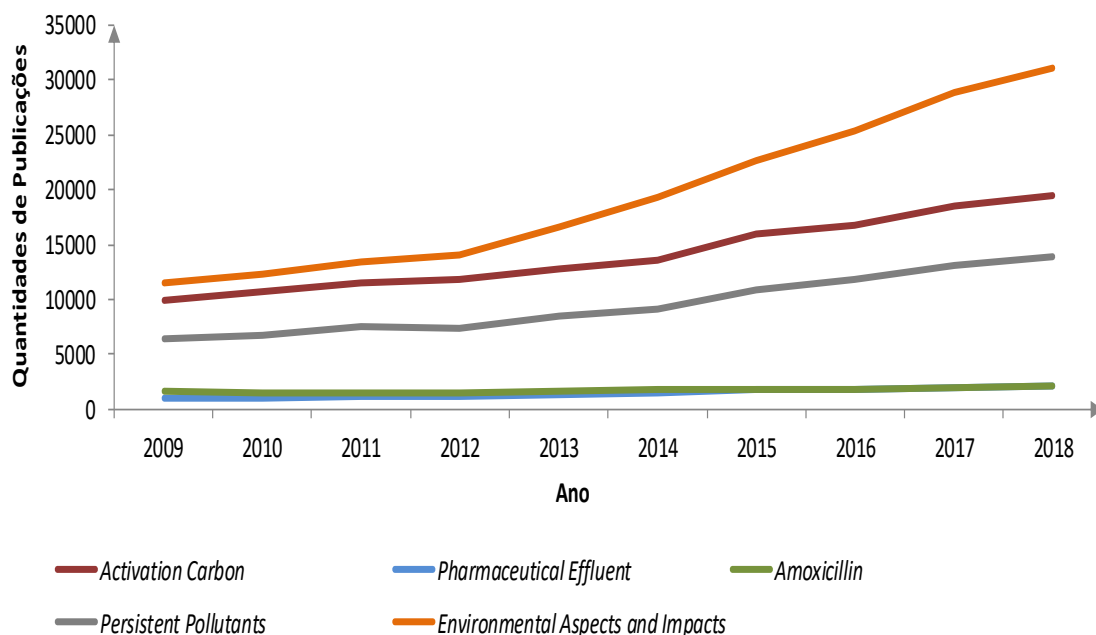


Figura 8 – Quantidade de publicações, durante os últimos 10 anos, das subáreas estudadas (compilado pelo próprio autor).

A partir da análise das subáreas do estudo, observou-se que as discussões a respeito dos “aspectos e impactos ambientais” vem crescendo, quando comparada com o crescimento das demais subáreas analisadas. Isso se deve ao crescimento da temática “sustentabilidade” no meio científico, tal que conforme evidenciado por Rockström *et al.* (2009), Steffen *et al.* (2015) e Ryberg *et al.* (2016) o ser humano experimenta uma sobrecarga da capacidade de resiliência dos poluentes emitidos pelas sociedades, fato que vem tomando destaque na academia devido a necessidade de se entender as suas consequências.

Nesse sentido, diversos estudos buscaram discutir a relação dos impactos e as recentes consequências para a saúde humana (STEFFEN *et al.*, 2015; BROMAN e ROBERT, 2015). Outro item observado a partir da correlação entre as temáticas centrais e as subáreas do estudo consiste no fato de que apesar de os estudos com o “*biochar*” serem considerados baixos, em termos de quantidade, muitos estudos são desenvolvidos utilizando carvões ativados a partir de outros materiais, conforme mostrado pela curva de CA (“*activated carbon*”) e corrobora com a quantidade de estudos sobre adsorção de poluentes (Figura 8). Aliado a isso, observou-se também a crescente dessas duas subáreas, em termos quantitativos, aliadas às discussões dos poluentes persistentes (“*persistent pollutants*”).

Apesar de sua importância no processo de tratamento de águas, os efluentes farmacêuticos, especificamente a amoxicilina, apresentaram poucos trabalhos realizados nos últimos 10 anos, se comparada com a curva dos poluentes persistentes, o que destaca a importância de se discutir este poluente em especial.

O próximo passo correlacionou as duas pesquisas realizadas anteriormente, o que permitiu identificar possíveis trabalhos realizados dentro do contexto ambiental e do contexto da adsorção de poluentes. Primeiro, foram analisadas as palavras chaves envolvendo a aplicação da ACV no sistema de produção, com foco na discussão do DS na indústria de celulose e papel. A Figura 9 apresenta a correlação por pares.

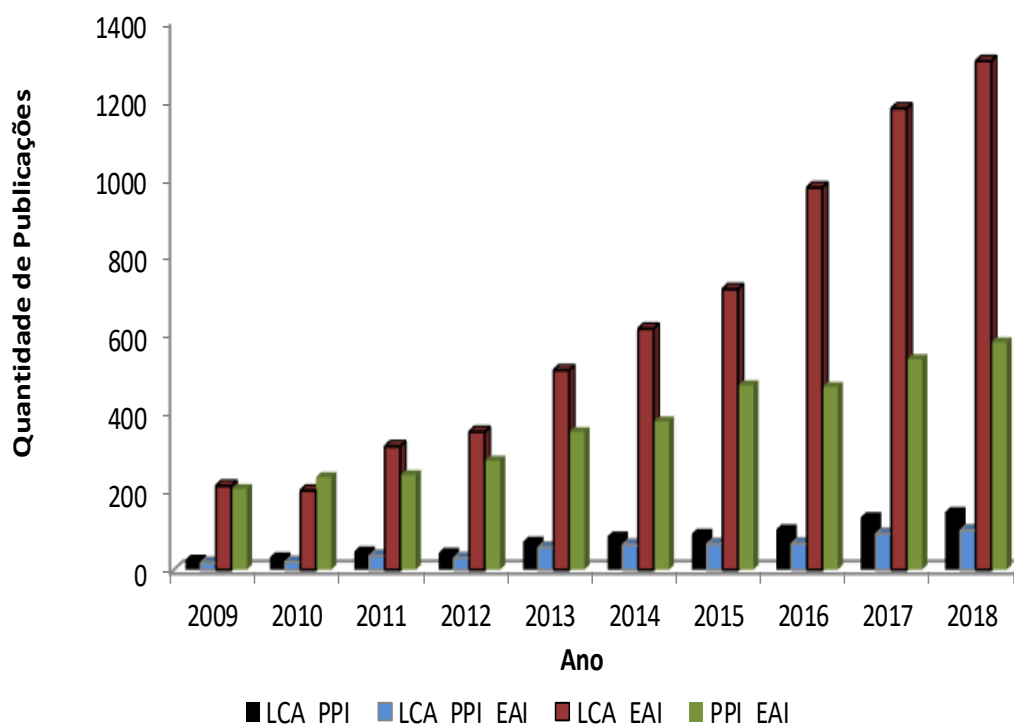


Figura 9 – Correlação das palavras chaves da aplicação da PL na indústria de celulose e papel (compilado pelo próprio autor).

Legenda:

LCA – Life Cycle Assessment;

PPI – Pulp and Paper Industry;

EAI – Environmental Aspects and Impacts.

Os tópicos correlacionados apresentaram uma evolução crescente com o passar dos anos, o que destaca a atenção dada por diversos autores referente as questões ambientais mesmo quando o foco foi direcionado para a indústria de

celulose e papel (“PPI + EAI” e “LCA + PPI + EAI”), de modo que a correlação “LCA + EAI” apresentou o maior crescimento no período.

Isso se deve pelo fato de a ferramenta ACV apresentar diversos benefícios que auxiliam a tomada de decisão das empresas, por meio de uma visão sistêmica da vida do produto, e ser uma ferramenta em constante evolução (ISO, 2006a). Essa correlação se destaca também pelo fato de os aspectos e impactos ambientais (EAI) serem partes dos estudos de ACV.

Em seguida, foram encontrados diversos estudos que relacionaram a indústria de celulose e papel (“PPI”) com os aspectos e impactos ambientais (“EAI”), o que provavelmente ocorreu devido ao processo de aplicação das ferramentas de gestão ambiental nas últimas décadas por força das legislações ambientais (WWF, 2016).

Outro ponto de destaque consistiu na quantidade de trabalhos relacionando a ACV com a indústria de celulose e papel, sendo que os estudos são realizados, em sua maioria, com o intuito de se discutir os aspectos e impactos ambientais da indústria de celulose e papel, não discutindo o seu ciclo na visão ambiental ao longo de toda sua cadeia de produção.

Poucos trabalhos foram encontrados cruzando as três principais palavras chaves na aplicação do DS (“LCA + PPI + EAI”) devido ao foco dado na integração desses três termos.

A partir da interpretação das correlações na área do DS, as mesmas foram direcionadas visando entender sua relação com a questão dos CTG’s de origem farmacêutica, assim como com o processo de tratamento por meio da adsorção utilizando o *biochar* como material adsorvente.

Foram escolhidas as palavras-chave “*pulp and paper industry*” e “*life cycle assessment*” que foram cruzadas com as demais palavras-chave a fim de visualizar a gama e características dos trabalhos com multidisciplinaridade de áreas, conforme apresentado na Figura 10.

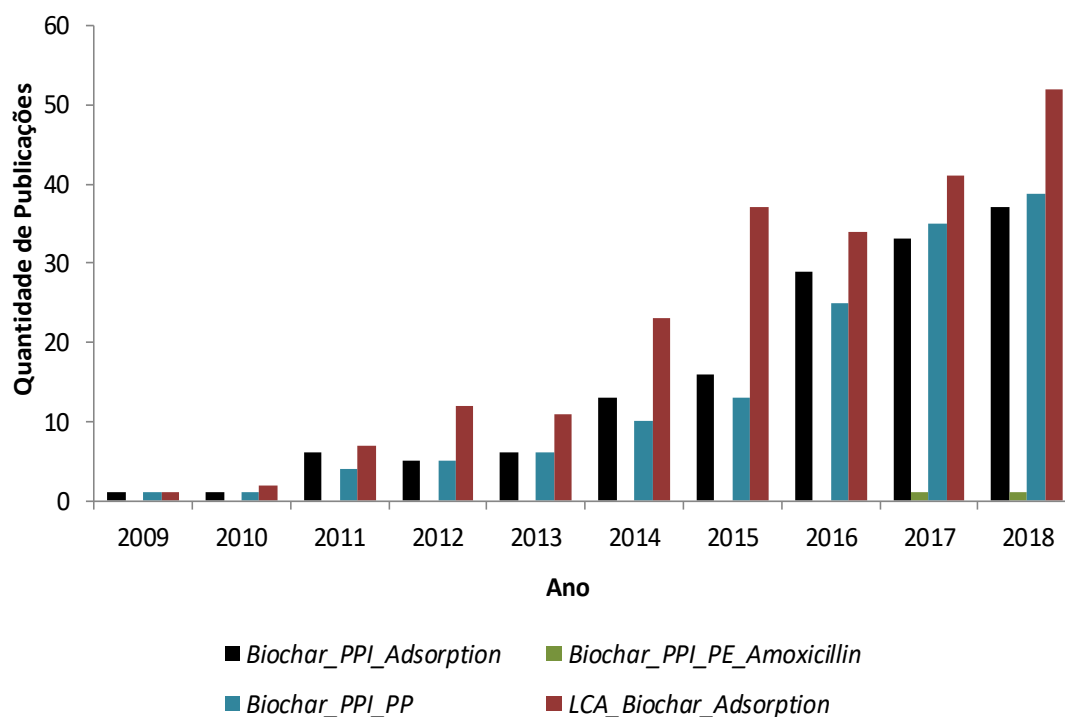


Figura 10 - Correlação das principais palavras chaves da primeira etapa com os poluentes farmacêuticos o processo de adsorção (compilado pelo próprio autor).

Legenda:

PPI – Pulp and Paper Industry;

PE – Pharmaceutical Effluent;

PP – Persistent Pollutants.

A partir dos dados coletados nesse ciclo, foram identificados cerca de 500 artigos publicados nesse cenário, que foram a base para o desenvolvimento do referencial teórico do presente estudo e pautaram as discussões a partir dos resultados obtidos.

Dessas informações, observa-se que até o ano de 2011 a quantidade de artigos publicados não foi superior a 10 artigos por ano em cada uma das correlações realizadas. Entretanto, observa-se um aumento nas produções de artigos a partir das análises por pares realizadas, exceto na análise com as palavras chaves “*biochar + PPI + PE + amoxicillin*”, apresentando valores crescentes nos últimos anos, o que demonstra que o foco adotado no presente estudo vem sendo abordado por outros pesquisadores.

Quando correlacionados os termos “*biochar + PPI + adsorption*” tem-se que os mesmos apresentam artigos voltados a testar o “*biochar*” para o tratamento de água pelo processo de adsorção, entretanto suas análises variaram a matéria prima na formação do “*biochar*”, testando diferentes matérias primas naturais (SRINIVASAN *et al.*, 2015; DEVI e SAROHA, 2015; MAHMOUD *et al.*, 2016),

além de compará-las com outros tipos de carvões (KUMAR e PANT, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016).

Na correlação dos termos “*biochar* + PPI + PP” há uma gama de artigos discutindo, principalmente, a temática da remoção de poluentes persistentes, fazendo alusão a indústria de celulose e papel no desenvolvimento do estudo, entretanto sem aplicar, necessariamente a celulose como “*biochar*” (ZHOU; ZHANG e CHENG, 2015), além de algumas comparações com o *biochar* oriundo da celulose com outros carvões (KAMBO e DUTTA, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016) e produzidos a partir da modificação da celulose por outros mecanismos a fim de potencializar a capacidade de adsorção (SUN *et al.*, 2015; DAS; SARMAH e BHATTACHARYYA, 2015; ANUPAM *et al.*, 2016), além de levantamentos teóricos (MOHAN *et al.*, 2014; TRIPATHI; SAHU e GANESAN, 2016).

Quando se integrou os termos “*biochar* + PPI + PE + *amoxicillin*”, não foram encontrados artigos correlacionados, provavelmente devido ao foco muito específico no refinamento da pesquisa. Os artigos encontrados também não trouxeram uma discussão aplicada a essas quatro áreas integradas, uma vez que fazem revisões a respeito da aplicação do “*biochar*” nos tratamentos químicos (ZHOU; ZANG e CHENG, 2015; TAPIA-OROZCO *et al.*, 2016).

Quando foram cruzados os três termos principais “*biochar* + LCA + *adsorption*”, buscou-se identificar estudos que apresentassem uma metodologia aproximada da proposta no presente estudo a fim de identificar estudos que tivessem correlacionado a ferramenta da ACV na visão do tratamento de águas superficiais no processo de adsorção, não sendo identificados estudos com esse foco.

Com relação aos tipos de poluentes Bhandari *et al.* (2015) trazem que os fertilizantes despertam interesse, seguido dos metais pesados, pois estes consistem em poluentes danosos e agressivos a saúde humana, devido sua toxicidade e persistência no ecossistema. Entretanto, os poluentes fármacos também são importantes nesse contexto, uma vez que, os mesmos contribuem para diversas mudanças biológicas nos ecossistemas e afetam diretamente a saúde pública.

Refinando a análise, buscou-se identificar outras características dos artigos analisados. Em todos os tópicos a maior quantidade de publicações são de artigos em “*Journals*” (periódicos internacionais), seguido pelas publicações em livros, trabalhos de congressos e feiras. Os tópicos “*biochar*” e “*adsorption*” apresentaram maior quantidade de artigos publicados em “*Journals*”, em termos percentuais, apresentando 93% e 92% respectivamente. Em contrapartida, o tópico correlacionado “PPI + EAI” (“*pulp and paper industry*” e “*environmental aspects and impacts*”) apresentou cerca de 24% das publicações em livros.

A partir do levantamento por tipo de documento, foi possível estudar os assuntos que se correlacionaram com as palavras chaves estudadas, em termos percentuais com relação ao total de artigos encontrados, conforme apresentado na Figura 11.

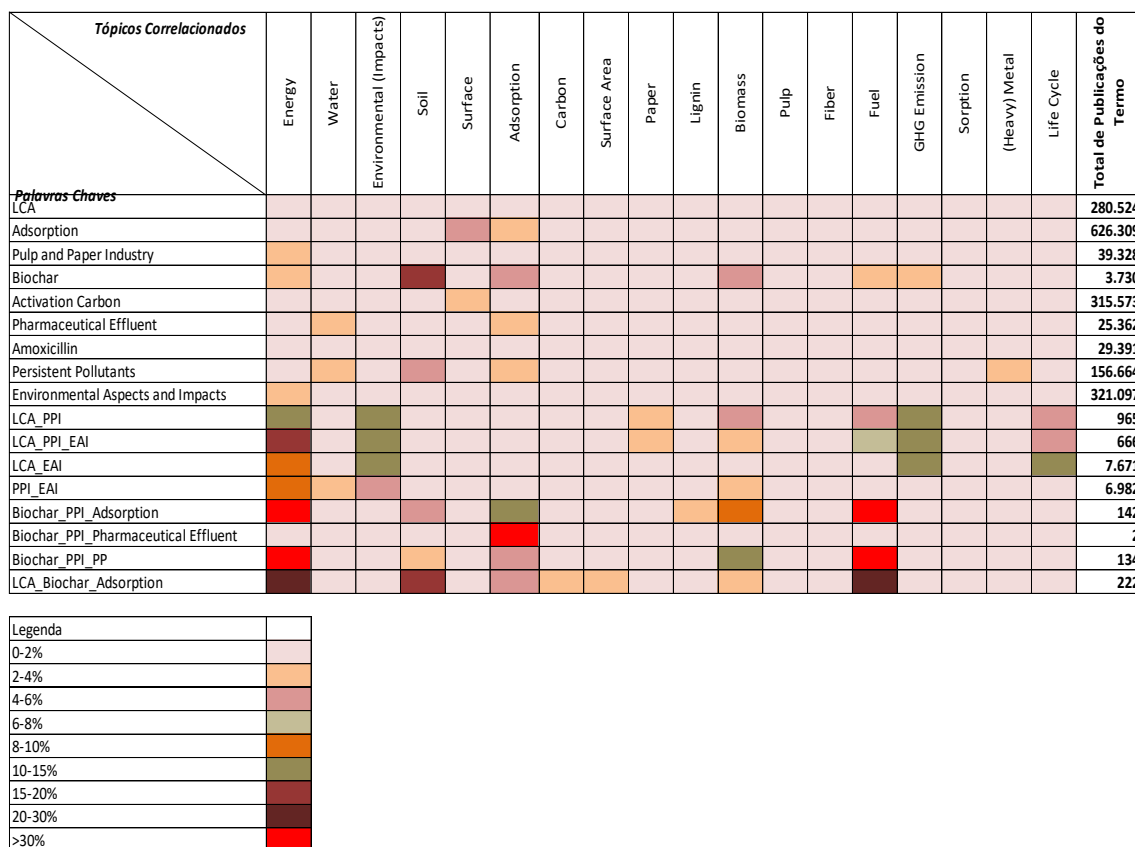


Figura 11 – Correlação dos assuntos que mais apareceram correlacionadas com as palavras chaves (compilado pelo próprio autor).

Observa-se que as quantidades de estudos relacionados com as temáticas propostas não apresentaram percentuais consideráveis quando cruzadas com as palavras-chave. Assim, quando correlacionados os assuntos encontrados nas

temáticas estudadas, os percentuais destacados foram com o termo “energy”, que apareceu em várias das palavras-chave estudadas.

Outro tópico com percentuais consideráveis, foi o “GHG” (Greenhouse Gas) que apareceu com valores entre 10% a 15% com algumas palavras-chave relacionadas a sustentabilidade e o termo “fuel” (combustível), que destacaram algumas das preocupações das pesquisas recentes. Foram identificados diretamente na temática de estudo os termos “water” (água) e “pulp” (celulose).

As palavras chaves analisadas foram correlacionadas e tabuladas visando identificar os periódicos em que os artigos foram publicados. Com isso, buscou-se identificar quais os periódicos se destacaram nas publicações a partir da pesquisa realizada e se algum periódico se destacou em mais de uma correlação estudada, em percentuais com relação ao total de artigos encontrados, conforme apresentado na Figura 12.

<i>Journals</i>	Journal Of Cleaner Production	Fuel and Energy Abstracts	Science of the Total Environment	Energy Policy	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Energy	Chemosphere	Surface Science	Journal of Catalysis	Applied Surface Science	Journal of Hazardous Materials	Bioresouce Technology	Pump Industry Analyst	Biomass and Bioenergy	Fuel	Total de Publicações do Termo
<i>Palavras Chaves</i>																
LCA																280.524
Adsorption																626.309
Pulp and Paper Industry																39.328
Biochar																3.730
Activation Carbon																315.573
Pharmaceutical Effluent																25.362
Amoxicillin																29.391
Persistent Pollutants																156.664
Environmental Aspects and Impacts																321.097
LCA_PPI																965
LCA_PPI_EAI																666
LCA_EAI																7.671
PPI_EAI																6.982
Biochar_PPI_Adsorption																142
Biochar_PPI_Pharmaceutical Effluent																2
Biochar_PPI_PP																134
LCA_Biochar_Adsorption																222

Legenda	
0-2%	
2-4%	
4-6%	
6-8%	
8-10%	
10-15%	
15-20%	
20-30%	
>30%	

Figura 12 – Periódicos que mais apareceram correlacionados com as palavras chaves estudadas (compilado pelo próprio autor).

É possível observar que o periódico “Journal of Cleaner Production” aparece com um elevado percentual em pelo menos três tópicos estudados (“LCA + PPI”,

“LCA + PPI + EAI” e “LCA + EAI”), todos direcionados a temática da sustentabilidade, uma vez que consiste no escopo da revista. Outro periódico destacado é o "*Fuel and Energy Abstracts*". Os demais periódicos foram mais estratificados, apresentando percentuais baixos com relação as quantidades de publicações.

A partir do levantamento bibliométrico realizado, constatou-se que a temática proposta seguiu uma tendência crescente na comunidade, mas não foi encontrado um trabalho que aplicasse a celulose como elemento filtrante para a remoção da amoxicilina em águas superficiais no contexto do DS especificamente.

2.2 Desenvolvimento Sustentável

Segundo Khalili (2015) as questões ambientais associadas às atividades de desenvolvimento da sociedade humana começaram a ser de interesse econômico a partir da formação da EPA (*Environmental Protection Agency*) em 1970, que contribuiu para que uma vasta gama de leis, regulamentações e diretrizes fossem desenvolvidas.

Com isso, a ideia de que a natureza funciona em constante equilíbrio passou a fomentar as discussões a respeito das interações das atividades humanas com o ambiente ao seu redor.

Para Barbieri (2011), como todo ser vivo, o ser humano retira os recursos do meio ambiente para sua sobrevivência e devolve as “sobras”. Porém, devido à evolução das sociedades, as “sobras” humanas passaram a se acumular e, conseqüentemente, acarretar diversos problemas para o ambiente.

Nesse sentido, a humanidade enfrenta uma diminuição da qualidade do ecossistema natural e um aumento gradativo do risco de direcionar a biosfera para um estado de degradação em que seria difícil ou impossível manter a civilização humana (STEFFEN *et al.*, 2015), tal que com o crescimento contínuo da população, vem alterando consideravelmente a capacidade de suporte e resiliência do planeta (UNEP, 2011).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2018) o crescimento populacional continuará nos próximos anos, aumentando a quantidade de pessoas no planeta, conforme Figura 13.

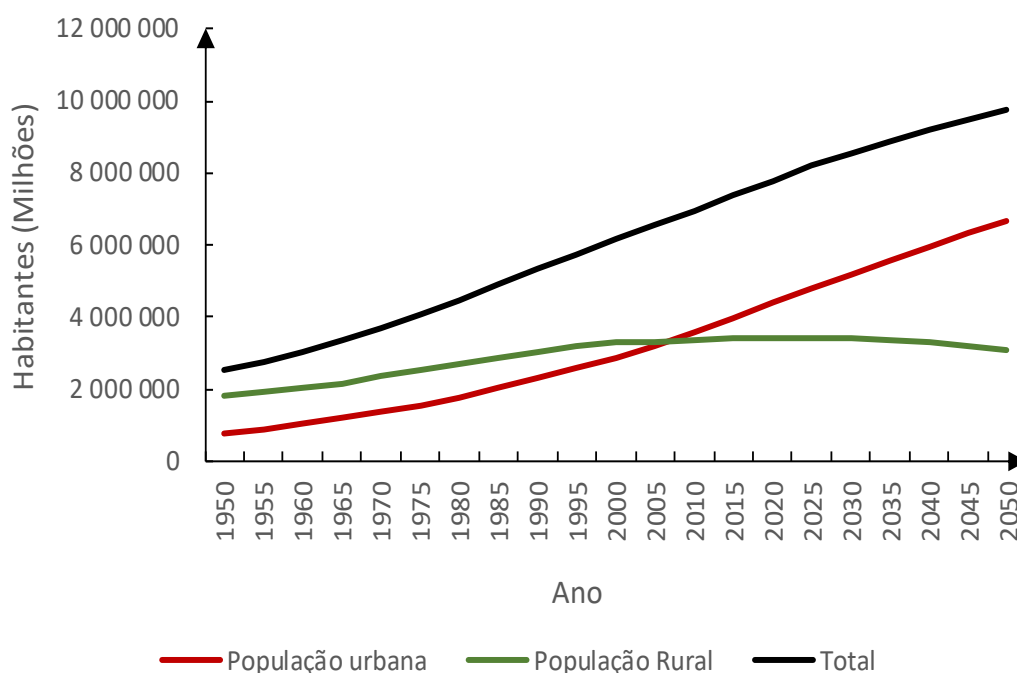


Figura 13 – Evolução da população urbana e rural até 2050 (ONU, 2018).

Além do crescimento populacional, o processo de urbanização também tende a aumentar nos próximos anos, como observado pelo fato de que desde meados de 2000 a quantidade de pessoas vivendo em áreas rurais passou a diminuir enquanto que em áreas urbanas manteve seu crescimento.

O Departamento das Nações Unidas para Assuntos Econômicos e Sociais e Divisão de População (UNDESA, 2019) prevê que a população urbana mundial aumentará até 60% em 2050, o que implica um aumento absoluto de cerca de 2,5 bilhões de pessoas.

Como reação, tem o fato de que uma maior concentração de pessoas em uma mesma área geralmente aumenta a poluição daquela região, dificultando a capacidade de resiliência da região, além de outras consequências que afetam o equilíbrio da região como escassez de recursos locais, redução da cobertura verde e alteração do ciclo da água (KPMG, 2012).

No Brasil, segundo o IBGE (2019), este processo tem um desenho parecido nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 14.

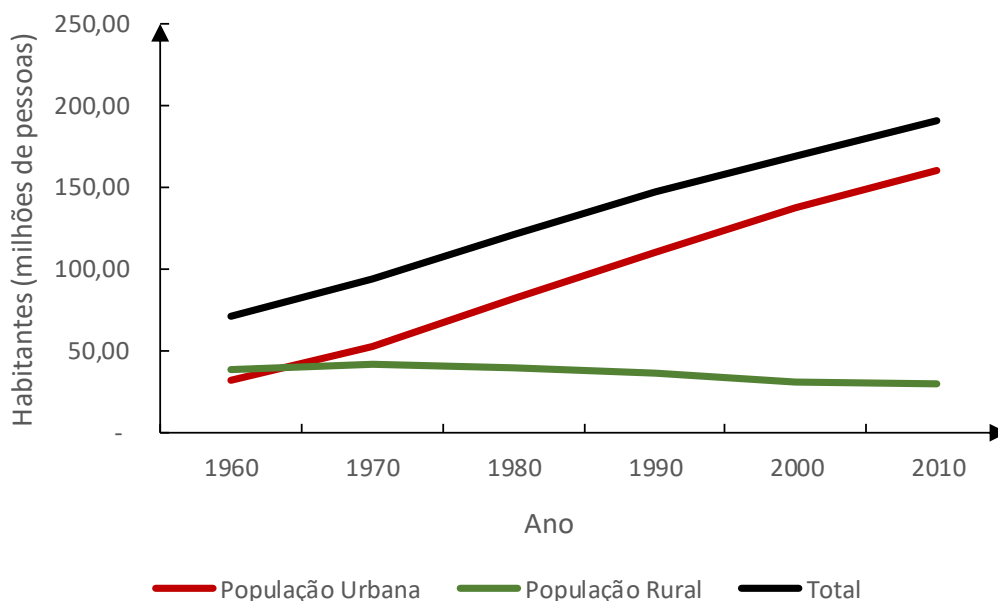


Figura 14 – População urbana e rural no Brasil desde 1960 (IBGE, 2019).

Há uma previsão de que no Brasil o processo de urbanização também se acentue, seguindo a tendência que vem ocorrendo nos últimos anos, o que pode contribuir com o aumento da poluição local, além de outros problemas ambientais oriundos da urbanização.

A degradação do planeta Terra é sentida há muito tempo, engloba os diversos biomas naturais e as sociedades contemporâneas, afetando os diferentes setores da sociedade. Segundo Ayambire *et al.* (2019) a rápida urbanização, principalmente com relação ao crescimento populacional, continua a apresentar uma ameaça substancial as cidades, pois ameaça os serviços ecológicos em áreas urbanas, a estabilidade social e os sistemas de saúde.

Tais fatos foram agravados devido à alguns marcos na história humana, sendo que as revoluções industriais se destacam como os principais marcos para a evolução deste cenário, em que os impactos ambientais negativos decorrentes da indústria cresceram de uma forma significativa, gerando uma preocupação na população em geral com relação a sustentabilidade do planeta.

Cada vez mais se discute que a escalada das atividades humanas, seguida de seus impactos ambientais, ameaça exceder a capacidade de resiliência dos processos do sistema terrestre que, por sua vez, poderia potencialmente desestabilizar os sistemas ecológicos (STEFFEN; CRUTZEN e MCNEILL, 2007; LENTON *et al.*, 2008;).

O modo de vida do ser humano tem se tornado uma das principais preocupações devido ao fato de que seus impactos ao meio ambiente passaram a afetar a qualidade dos ecossistemas e das populações ao redor do planeta. Deste modo, entender os diversos impactos ambientais da sociedade contribui para uma melhor análise da complexidade que eles podem tomar e trazer informações que facilitem sua remediação com o tempo (RYBERG *et al.*, 2016).

Segundo Vergara e Tchobanoglous (2012) as atividades antrópicas geram diversas e complexas formas de resíduos que podem causar danos à saúde humana, aos ecossistemas e os recursos naturais.

Dessa forma, chamar os resíduos como poluição evoluiu para uma nova perspectiva de que os resíduos são considerados como recursos que podem contribuir para sociedades mais sustentáveis (LAURENT *et al.*, 2014b; MADON; DREV e LIKAR, 2019).

Na busca por ações sustentáveis para as cidades, surgiram iniciativas no sentido de entender como se poderia equilibrar o sistema de desenvolvimento humano, relacionando a busca pelo bem-estar das sociedades e a disponibilidade de recursos que a região é capaz de sustentar.

Para atenuar os efeitos desse crescimento, várias ações globais passaram a ser tomadas pelos países em busca de soluções para o desenvolvimento da sociedade em harmonia com o meio ambiente.

Assim, é importante entender alguns marcos e processos evolutivos com relação à discussão da temática ambiental no contexto político e de desenvolvimento (ACOT, 1990; PNUD, 2010).

Apesar de vários marcos antecederem a data de 1959, os mesmos apresentaram desdobramentos a partir da década de 1960, na qual as discussões ambientais começaram a fazer parte das discussões políticas.

As Tabela 1 e Tabela 2 mostram uma síntese da evolução das ações aplicando a discussão ambiental nos pilares econômicos e sociais, entre as décadas de 1950 – 1980 (Tabela 1) e 1980 – 2015 (Tabela 2).

Tabela 1 – Marcos do gerenciamento ambiental (adaptado de PIOTTO, 2003; PNUMA, 2009; CARLSON, 2010; LINO, 2011; GREENPEACE, 2012; WWF, 2012).

EVENTO	ANO
Convenção sobre Pesca no Atlântico Norte e NE – Conservação e uso racional da pesca	1959
Protocolo 91 – Uso da Antártida para fins pacíficos	1959
Convenção sobre a responsabilidade de terceiros no uso da energia nuclear – uso pacífico	1960
Publicação do livro “Silent Spring” de Rachel Carlson sobre o uso de pesticidas	1962
Tratado proibindo ensaios nucleares na atmosfera	1963
Acordo sobre a poluição do rio Reno, acordo de cooperação entre os países ao seu entorno	1963
Criação do Clube de Roma	
Conferência da UNESCO para o uso racional e conservação da Biosfera (Desenvolvimento Sustentável)	1968
Lançamento do Livro “So Human an Animal” de René Jules Dubos, ressaltando a importância da Natureza para o ser humano	1968
Publicação do livro “Population Bomb” de Paul Ehrlich que discute a relação dos recursos naturais e o meio ambiente	1968
Criação do Clube de Roma, grupo de cientistas que debatiam sobre a escassez de recursos naturais	1968
Criação do Centro Internacional de Pesquisa do Desenvolvimento (IDRC) coordenado pelo primeiro ministro do Canadá Lester B. Pearson	1969
Criação do Greenpeace, grupo de reivindicações das questões ambientais	1971
Criação do Princípio do poluidor pagador da OECD (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico)	1971
O Clube de Roma publica o relatório “Limites do Crescimento”, que prevê consequências negativas com relação ao crescimento da humanidade	1972
1ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente) em Estocolmo, que obteve como resultados relevante a formação do UNEP (<i>United Nations Environment Programme</i>)	1972
Criação pela UNEP do conceito de “eco desenvolvimento”	1973
Surge o movimento “Chipko” na Índia em resposta à devastação de recursos locais	1973
1ª Crise Mundial do petróleo – discussão sobre seu limite de exploração	1973
Publicação do estatuto de proteção de espécies ameaçadas nos Estados Unidos	1973
Artigo de Rowland e Molina na “Nature” alerta para a destruição da camada de ozônio pelo gás CFC	1973
Apresentação do modelo Latino Americano de desenvolvimento do terceiro mundo pela Fundação Bariloche	1974
Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação	1977
Acidente na usina nuclear “Three Mile Island” – Estados Unidos	1979

Tabela 2 – Continuação – Marcos do gerenciamento ambiental (adaptado de PIOTTO, 2003; PNUMA, 2009; CARLSON, 2010; LINO, 2011; GREENPEACE, 2012; WWF, 2012)

<i>EVENTO</i>	<i>ANO</i>
Publicado relatório da ONU sobre a natureza, o qual ressalta a necessidade de controle na exploração dos recursos naturais	1982
Acidente de Bophal (vazamento de pesticidas) deixa 10.000 mortos e 300.000 feridos	1984
É criado o programa “Responsible Care” no Canadá que estabelece um código de conduta para as indústrias químicas que acabou expandido para diversos países	1985
É descoberto o buraco na camada de ozônio na Antártida por cientistas britânicos e americanos	1985
Acidente nuclear de Chernobyl, isolando uma grande região	1986
Publicação do Relatório de “Brundtland – Nosso Futuro Comum” pela CMMAD (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), que apresenta o conceito de Desenvolvimento Sustentável	1987
Adotado o Protocolo de Montreal, visando o controle no uso e produção de gases de efeito estufa	1987
É criado o IPCC (Intergovernmental Painel on Climate Change) para a discussão das mudanças climáticas	1988
Acidente com o navio Exxon Valdez: vazamento de 385.000 m ³ de óleo na costa do Alasca	1989
Criado o Protocolo do Tratado Ártico sobre Proteção Ambiental – Designa a Antártida como reserva natural	1991
Convenção sobre a AIA (Avaliação de Impacto Ambiental)	1991
2ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (ONU) no Rio de Janeiro, denominada de Cúpula da Terra, deu origem a Agenda 21, e a base para as convenções sobre Mudanças Climáticas e Diversidade Biológica	1992
Primeiro encontro da Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas para acompanhar o que foi estabelecido na Agenda 21	1993
Formada a Cúpula das Américas para o Desenvolvimento Sustentável	1996
Adotado formalmente o Sistema de Certificação Ambiental ISO 14001	1996
Assinatura do Protocolo de Kyoto, acordo mundial para controle da emissão de gases de efeito estufa pelos países	1997
3ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio + 10), que buscou avaliar os progressos desde a Rio 92 e a atualização das metas em prol do meio ambiente	2002
Lançamento do Relatório “Environment for Development” – GEO4 pela ONU alertando para as principais ameaças das ações humanas para o meio ambiente	2007
4ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio + 20), a maior conferência sobre o tema já realizada que buscou tratar os acordos mundiais sobre a preservação dos recursos naturais	2012
5ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, onde foram definidas os novos objetivos do Desenvolvimento Sustentável, em Nova York, como parte de uma agenda sustentável com o prazo para 2030	2015
Conferência da ONU sobre o clima na Polônia, teve como foco especial em neutralidade de carbono e igualdade de gênero	2018

Uma das primeiras publicações que chamaram a atenção para o meio ambiente foi o livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carlson em 1962 que trazia à luz a discussão dos impactos ambientais permanentes dos pesticidas utilizados na agricultura.

Em 1968 René Dubos publicou uma obra ressaltando a importância da natureza para o ser humano, corroborando com as conferências ambientais que passaram a tomar espaço.

O ano de 1972 teve dois marcos que inseriram as discussões ambientais nas economias mundiais, mesmo sem grandes avanços em seguida. A publicação do relatório do Clube de Roma sobre os limites do crescimento e a 1ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente.

A partir disso, alguns acidentes marcaram a história humana, como o acidente de Chernobyl, até hoje sem solução, que densificou um aumento nas discussões ambientais a partir do final da década de 1980's.

Reuniões globais passaram a discutir formas de manter o desenvolvimento em harmonia com o meio ambiente, originando o conceito do DS elaborado na Assembléia Geral das Nações Unidas por meio do relatório de Brundtland que se tornou popular no mundo todo (MÁRQUEZ *et al.*, 2019), definindo o DS como a busca pelo bem-estar e conforto das populações atuais com equidade de forma sustentável para que as futuras gerações também possam saciar suas próprias necessidades (CMMAD, 1991).

A partir da definição do DS, várias conferências buscaram mapear ações para a mitigação dos impactos ambientais a nível mundial, estabelecendo marcos e metas para os países que entrassem nos acordos, como o protocolo de Kyoto de 1992 sobre mudanças climáticas (IPCC, 2012).

Em 1994 John Elkington elaborou o conceito do Triple Bottom Line (TBL), traduzido como o tripé da sustentabilidade, na busca por evidenciar ações em prol do meio ambiente, mas que tragam benefícios para as organizações e as pessoas ao mesmo tempo, criando um conceito atrativo para as empresas (ELKINGTON, 2012).

O TBL sugere que na ligação do desempenho social, ambiental e econômico, existem atividades em que as organizações podem se envolver e que não só afetam positivamente o ambiente natural, mas também trazem benefícios à sociedade e à economia das empresas e instituições que podem conseguir vantagens competitivas (CARTER e ROGERS, 2008).

Segundo Khalili (2015), o paradigma do DS teve como foco a integração da sustentabilidade ambiental (ecológica), social e econômica por meio de um quadro coeso que os trate como objetivos interligados.

Fato corroborado por Broman e Robert (2017) afirmando que esses três parâmetros são essenciais para o desenvolvimento e transição da sociedade para uma sociedade sustentável.

Entretanto, há uma dificuldade em se lidar com as barreiras culturais para a aplicação dessas ações, uma vez que, na maioria das vezes, a população surge como uma barreira com relação à mudanças em seus atos e/ou costumes, o que dificulta a aplicação de ferramentas sustentáveis, como ocorre no Brasil.

Assim, os aspectos essenciais que precisam ser sustentados incluem, por exemplo, a confiança entre as pessoas e as instituições, tal que a diversidade de personalidades, idades, gênero, significado comum, capacidade de aprendizagem e capacidade de auto-organização são imprescindíveis para a aplicação da sustentabilidade (BROMAN e ROBERT, 2017; MISSIMER; ROBERT e BROMAN, 2017).

Outro marco importante para a consolidação do DS ocorreu na 5ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente em 2015 em que, visando unificar a busca pelo DS, as Nações Unidas desenvolveram 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), que consistiram em um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade na busca por fortalecer a paz, pela igualdade e erradicação da pobreza em todas as formas (ONU, 2015).

Os ODS são um conjunto de 17 metas inter-relacionadas que buscam articular os resultados desejados do DS (ONU, 2015; UNDESA, 2019), como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (adaptado de ONU, 2015; UNDESA, 2019).

Objetivos	Descrição
1	Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares
2	Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável
3	Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades
4	Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos
5	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas
6	Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos
7	Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos
8	Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos
9	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação
10	Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles
11	Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
12	Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis
13	Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos
14	Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável
15	Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade
16	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis
17	Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável

Os ODS da Agenda 2030 cobrem um amplo aspecto de questões relacionadas ao DS (ROSATI e FARIA, 2019), que aspiram meios para transformar a maneira como as questões do desenvolvimento humano no planeta e as mudanças climáticas são abordadas (GOMEZ-ECHEVERRI, 2018), fornecendo uma compreensão mais universalmente aceita sobre a sustentabilidade (HACKING, 2018). Os ODS formam um plano de ação para os países na busca pela aplicação do DS nas suas culturas.

2.2.1 Metodologias para o Desenvolvimento Sustentável

Como uma das principais metodologias desenvolvidas, a Produção Limpa (PL) se destaca no sentido de sistematizar a busca pela redução na geração de resíduos e poluentes nos sistemas de produção (GUIMARÃES *et al.*, 2017), otimizar o processo de produção, aumentando sua eficiência, ao mesmo tempo em que busca regular e controlar o uso de insumos e a geração de resíduos dentro do processo (SEVERO; GUIMARÃES; DORION, 2017).

Rahim e Raman (2015) e Peng e Liu (2016) afirmaram que a aplicação da PL no setor industrial traz benefícios tanto para a empresa como para a sociedade ao seu entorno. Oliveira Neto *et al.* (2019) aplicaram práticas de PL em 2 indústrias têxteis no Brasil, obtendo reduções consideráveis no balanço de massa do sistema, chegando a um pouco mais de 76 toneladas por mês em uma das indústrias, consumo de água e energia elétrica.

Baines *et al.* (2012) relacionaram a evolução das estratégias de produção e as tendências crescentes, apontando que, a partir da década de 1980, quatro estratégias da cadeia de produção foram identificadas, na busca por melhorar o sistema de produção de produtos e serviços, o que evidencia a mudança que a sustentabilidade tem causado na visão sistêmica de uma cadeia de suprimentos:

- Sistema de Produção Convencional – aplicado a partir da segunda revolução industrial, tinha como foco a produção em série, sendo a base do desenvolvimento consumista em algumas nações;
- *Lean Manufacturing* – sistema mais eficiente que o anterior, foi desenvolvido a partir do sistema Toyota de produção após a 2ª Guerra Mundial, tendo como diferencial a busca pela redução no desperdício de insumos e materiais. Esse sistema foi a base da reconstrução da economia japonesa e já apresentou fatores ambientais nas estratégias empresariais, devido a escassez de recursos em que o país se encontrava;
- Produção Verde – Uma nova abordagem dos sistemas de produção em que as estratégias empresariais já têm como foco a reutilização e reciclagem de materiais e resíduos. A preocupação ambiental faz parte

do desenvolvimento da empresa, com a aplicação de diversas ferramentas e metodologias visando a minimização dos seus impactos ambientais;

- Produção Sustentável – metodologia que busca a inovação e evolução de métodos e ferramentas em prol da construção de cadeias de produção cada vez mais sustentáveis, com o objetivo de transformar os resíduos de uma organização nos insumos de outra organização, formando uma teia de produção com foco no reaproveitamento, redesenho e remanufatura dos produtos e processos.

Ramcilovic-Suominen (2018) corroborou com essa discussão, apresentando uma correlação sobre as diferenças do sistema convencional de produção e a busca pela produção sustentável na visão empresarial, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação homem natureza (adaptado de RAMCILOVIC-SUOMINEN, 2018).

Natureza – Relações Humanas (dois pontos extremos com diferentes enfoques para o Desenvolvimento Sustentável)

Abordagem conservacionista, utilitárias e instrumental para o Desenvolvimento Sustentável	Abordagem ambiental, preservacionista, intrínseca e normativa do Desenvolvimento Sustentável
Natureza possui valor utilitário;	Natureza possui valor intrínseco;
Natureza é vista como “recurso”;	Seres humanos são parte da natureza;
Ser humano domina a natureza;	A vida em harmonia com a natureza;
Bem-estar humano deve ser atendido;	Outras espécies têm posição; seus direitos / interesses são reconhecidos.
Eficiência econômica.	

(Aspectos ambientais e sociais são vistos como custos) (Tensão entre os aspectos sociais e ambientais)

A abordagem conservacionista, que dominou o mundo até meados da terceira revolução industrial, passou a perder espaço para uma abordagem preservacionista, devido à instabilidade natural que passa o mundo. Assim, ciclos de produção mais conscientes passaram a fazer parte do gerenciamento da cadeia de suprimentos das empresas, dando início a diversas metodologias para a aplicação da PL no ambiente de trabalho das corporações.

Severo, Guimarães e Dorion (2017) destacaram que a intensificação da industrialização em nível global, a explosão populacional, o desenvolvimento de

novos produtos, a alta produção e o consumo excessivo de produtos contribuíram para o desenvolvimento econômico, mas resultaram na degradação ambiental dos ecossistemas e justificam essa mudança de visão para as empresas. Nesse contexto, o desenvolvimento do ambientalismo empresarial, como parte estratégica do negócio, foi uma das mudanças mais significativas que começaram a ocorrer nos mercados no início do século XXI.

Nesse cenário, a aplicação de práticas ambientais, como a PL, aliadas ao sistema de produção se tornaram importantes e consistem em estratégias para a redução dos problemas ambientais (GUIMARÃES *et al.*, 2017) de tal forma que surgem como um dos caminhos para a resolução dos limites planetários identificados.

Ayres e Udo (1994) fizeram uma correlação entre os ciclos biogeoquímicos (naturais) com o ciclo antrópico de produção em que é possível observar que, com a aplicação da visão do ecossistema, pode-se aproximar o ciclo de produção com os ciclos ecológicos na busca por sistemas de produção cíclicos e não mais lineares, formando uma das bases da Economia Circular (EC).

A Figura 15 apresenta, de maneira simplificada, a interação natural de reciclagem dos nutrientes, que mantém o que se chama de equilíbrio do planeta.

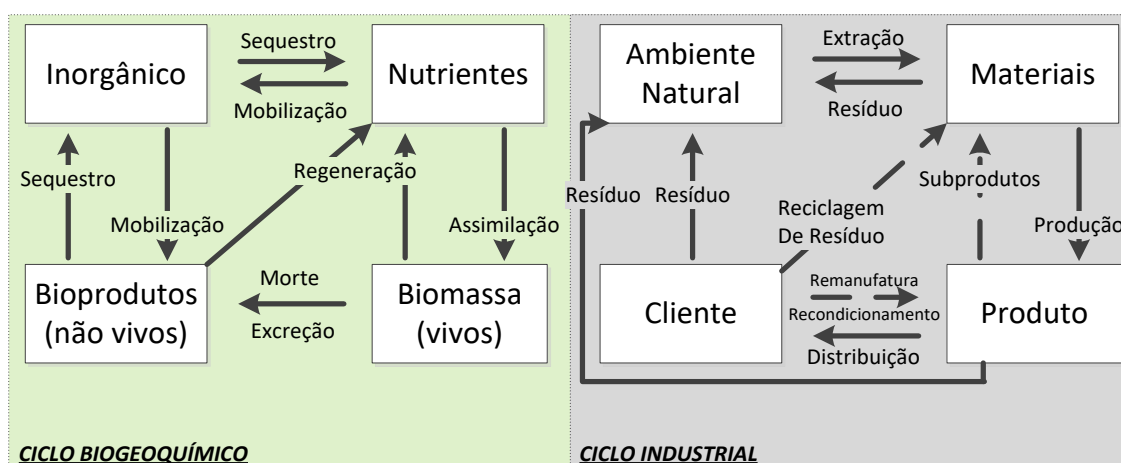


Figura 15 – Comparação entre o ciclo biogeoquímico e o ciclo industrial (macro visão dos processos) (adaptado de AYRES e UDO, 1994).

A busca pelo DS tem por finalidade aproximar o ciclo de produção industrial com o que ocorre naturalmente nos ecossistemas, em que o resíduo de uma corporação passa a ser insumo para a outra, formando diversos ciclos de reciclagem dos recursos naturais. Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) apontaram

para a necessidade de entender os principais limites, desafios ou oportunidades para a aplicação de um modelo de produção cíclico, apresentando um levantamento com diversos autores nesse sentido (Tabela 5).

Tabela 5 – Principais limites, desafios ou oportunidades para a transição para a EC (adaptado de GHISELLINI; CIALANI e ULGIATI, 2016)

Princípios da EC	Limites ou Desafios	Referência
<i>Design</i>	Cenário ideal de vida do produto	Bakker <i>et al</i> , 2014
	<i>Design</i> para desmontagem, reuso e reciclagem	Wrinkler, 2011, <i>Ellen Macarthur Foundation</i> , 2012, Bakker <i>et al.</i> , 2014
	<i>Design</i> para durabilidade dos produtos	Bakker <i>et al</i> , 2014
	<i>Design</i> para novos modelos de negócios de consumo	Ramani <i>et al.</i> , 2010, Bakker <i>et al.</i> , 2014
Redução	Estratégias de ecoeficiência	Figgie <i>et al</i> , 2014
Reuso	Técnicas de reutilização máxima de materiais	Park e Chertow, 2014
	Aumento na demanda do consumidor por produtos com materiais reutilizados	Prendeville <i>et al.</i> , 2014
	Desenvolvimento de mecanismos para retirada de produtos das empresas	Bilitewsky 2012
	Conserto e uso secundário dos produtos após o uso original	Bilitewsky 2012
Reciclagem	Tributação baseada em energias não renováveis em detrimento das renováveis	Stahel, 2010, 2013
	Suporte dos mercados locais para materiais reciclados	Sevignè-Itoiz <i>et al.</i> , 2014
	Riscos do comércio global de materiais. Os plásticos e seus contaminantes	Bilitewsky, 2012, Reh, 2013
	Celulose, viável até 4-6 vezes	Reh 2013
	Metais raros (escala econômica)	UNEP, 2013, Prendeville <i>et al.</i> , 2014
	Resíduos alimentares: transformações futuras e custos com pesquisa e desenvolvimento	Mirabella <i>et al.</i> , 2014
Reclassificação de materiais	Modelagem adequada de ACV para reuso e reciclagem	Thomas e Birat, 2013, Birat, 2015
	Reuso a partir do primeiro ciclo	<i>Ellen Macarthur Foundation</i> , 2012
Nutrientes	Retorno seguro para a atmosfera em refinarias	<i>Ellen Macarthur Foundation</i> , 2012
Energias renováveis	Aumentar sua participação em relação com os combustíveis fósseis	<i>Ellen Macarthur Foundation</i> 2012; Preston, 2012

Muitos estudos buscaram adequar ações sustentáveis para enquadrar o setor privado a uma cadeia de produção cíclica. Vários são os desafios para essa

aplicação, dos quais se destaca a busca pela reciclagem, reuso e novo *design* para os produtos.

Essa busca por uma cadeia de produção cíclica forma uma das bases da chamada Economia Circular (EC). Segundo Geerken *et al.* (2019), várias definições são utilizadas na literatura para definir a EC, mas geralmente estão correlacionadas com três perspectivas: escassez de recursos, impactos ambientais e benefícios econômicos.

A EC está enraizada em conceitos como ecologia industrial (FROSCHE, 1992), economia ambiental (ANDERSEN, 2007) e economia compartilhada (EEA, 2015; CODAGNONE e MARTENS, 2016) e já faz parte de políticas e estratégias em alguns países como na Alemanha (EMF, 2013) e China (LIEDER e RASHID, 2016; KORHONEN, 2018).

Segundo Geerken (2019) o conceito da EC não é recente, mas tomou destaque a partir dos anos 90's (GHISELLINI; CIALANI e ULGIATI, 2016). Por EC entende-se um sistema industrial restaurativo e regenerativo (EMF, 2015), em que o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia durante o maior tempo possível, e a geração de resíduos é minimizada (EEA, 2015).

O engajamento do setor privado na busca pela aplicação do DS é possível a partir de ações como a PL, provisão de trabalho decente, crescimento econômico e a EC. Para Ashrafi *et al.* (2019), essas ações são vistas como um subconjunto do DS, entretanto, não está claro como é possível operacionalizar e alcançar os ODS para o setor privado (SULLIVAN; THOMAS e ROSANO, 2018) sendo um dos desafios conectá-los a nível global (HACKING, 2018).

Essa conexão esbarra muitas vezes nas barreiras culturais, questões políticas ou econômicas, o que dificulta as mudanças no sentido de se buscar a aplicação dos conceitos da EC e PL no ambiente corporativo. A Figura 16 apresenta uma integração entre a EC a partir dos problemas ambientais oriundos do desenvolvimento econômico atual.

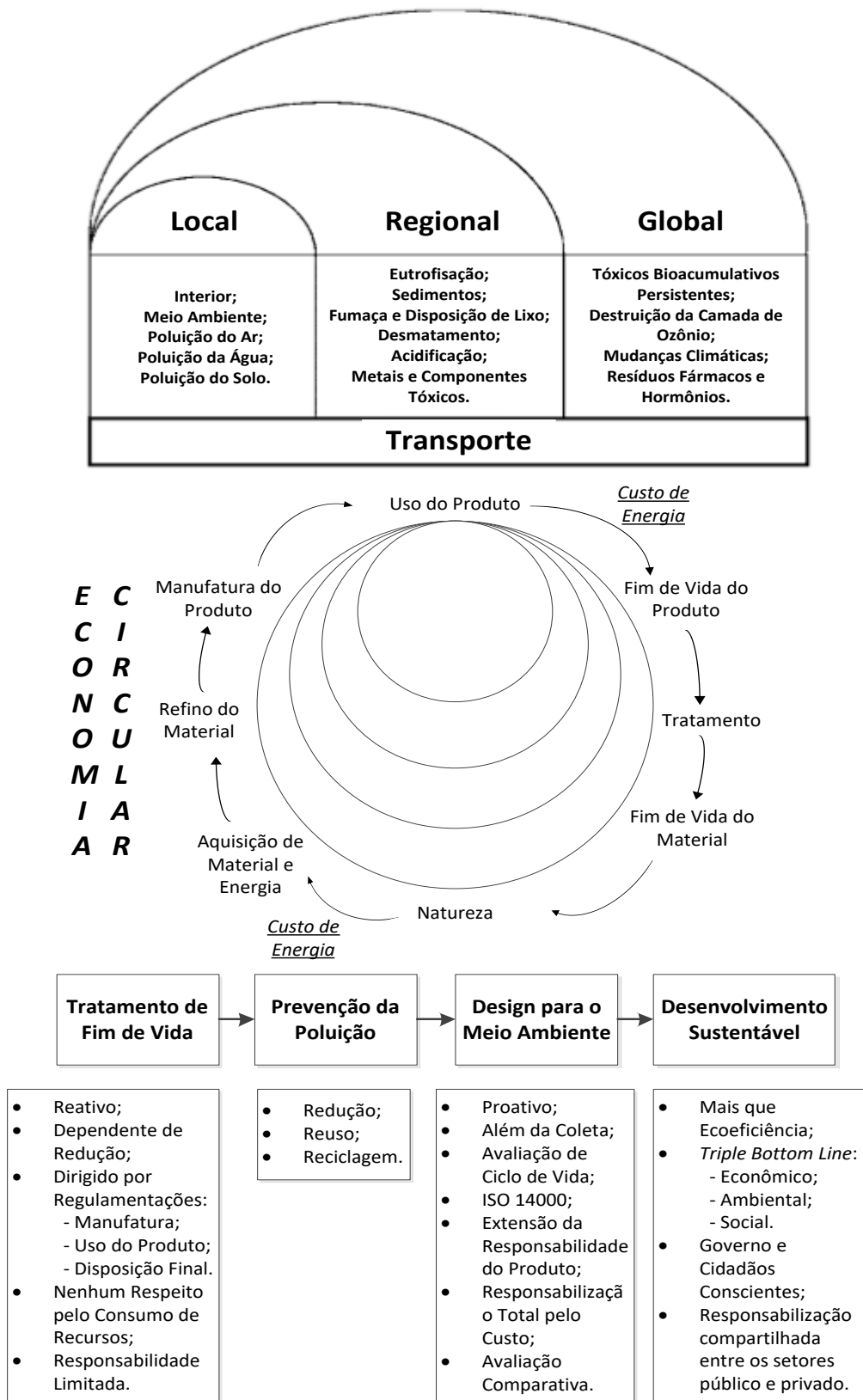


Figura 16 – Correlação entre a EC, DS e os problemas ambientais oriundos do sistema tradicional de desenvolvimento (compilado pelo próprio autor, adaptado de MIHELICIC et al., 2003; KORHONEN et al., 2018).

Percebe-se que os impactos ambientais locais desencadeiam reações a níveis regionais e globais, devido aos fenômenos de transporte naturais como água,

vento e seres vivos. Isso faz com que o ciclo convencional de produção, pautado no tratamento de fim de vida dos produtos, passou a ser considerado ultrapassado na maioria dos países, substituído pela etapa de prevenção da poluição (com base em alguns princípios do *lean manufacturing*), estando na busca por transformar o processo de produção chamado de verde no sentido do processo sustentável do sistema de produção. A metodologia da EC passou a ganhar destaque, sendo uma alternativa viável para a integração das empresas em um ambiente colaborativo visando o lucro além das questões ambientais.

Assim, para se entender a importância de se buscar essas alternativas para o DS, é importante entender o porque o planeta apresenta sinais de esgotamento na sua capacidade de suporte e resiliência. A Figura 17 apresenta algumas fontes de poluição e sua interação com o meio ambiente.

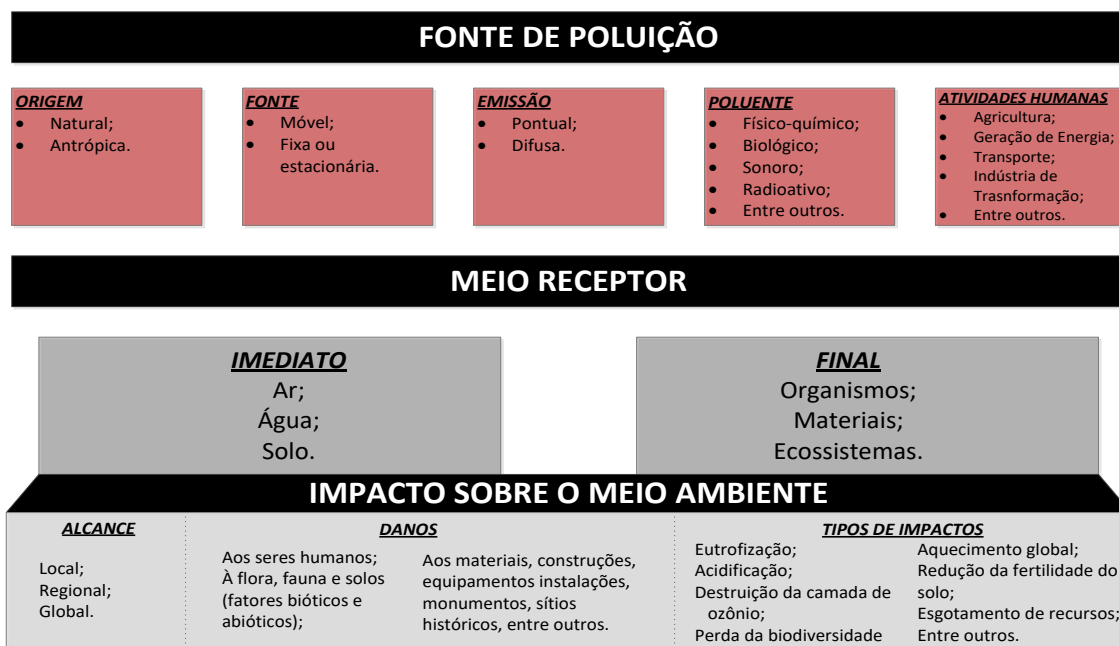


Figura 17 – Critérios de classificação da poluição (adaptado de BARBIERI, 2011).

Os poluentes podem interagir de maneiras diferentes dependendo da forma como são descartados no meio ambiente. Um poluente pode ter diversas fontes que afetam de imediato os fatores abióticos que vão causar danos as características dos materiais e seres vivos de um ecossistema, tendo a sua severidade aumentada dependendo da capacidade de resiliência do ecossistema afetado.

Os poluentes são grandes contribuintes para os diversos problemas ambientais mundiais, bem como as mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio,

danos à saúde humana, danos aos ecossistemas e a escassez de recursos naturais (ROCKSTROM *et al.*, 2009; LAURENT *et al.*, 2014a; STEFFEN *et al.*, 2015).

Segundo Barnosky *et al.* (2011) e Ceballos; Ehrlich e Dirzo (2017), o planeta Terra está vivendo a sexta era de extinção em massa de espécies. Com o desaparecimento dessas espécies se reduz a variedade de vida no planeta, perdendo a gama de serviços naturais que essas espécies promovem naturalmente para o ser humano (BRACHET; SCHIOPU e CLERGEAU, 2019).

Com o intuito de mapear os impactos ambientais globais de um produto, surgiram algumas ferramentas como a Avaliação do Ciclo de Vida de produtos (ACV), *design for environment* e rotulagem ambiental (CASAMAYOR e SU, 2013; CHOU, 2014; HALBE *et al.*, 2015; KUO *et al.*, 2016).

A ACV se destaca dentre essas ferramentas, pois busca quantificar o impacto ambiental associado ao produto durante todo o seu ciclo de vida a fim de identificar os impactos mais significativos, fornecendo um suporte para a tomada de decisão (ISO, 2006b; SILVA *et al.*, 2015; LEVASSEUR *et al.*, 2016). Consiste em uma ferramenta estabelecida e informativa de compreensão dos impactos ambientais dos produtos em toda a sua cadeia de valor, uma ferramenta eficiente para a aplicação da metodologia da PL (INGWERSEN *et al.*, 2016) e um guia para políticas e programas ambientais para informar os consumidores e ajudar as indústrias a diminuírem seus impactos ambientais (ISO, 2006b).

Coelho e Lange (2018) abordaram a ACV como uma ferramenta que consiste em avaliar os efeitos ambientais relacionados a um produto ou processo desde a aquisição da matéria prima natural até a disposição final do produto, englobando o consumo de recursos naturais e liberações de poluentes (UNEP, 2011), aplicável a qualquer setor de produção (BALDINI; GARDONI e GUARINO, 2017) apresentando soluções apropriadas para o gerenciamento de resíduos (LAURENT *et al.*, 2014a).

Segundo De Baan *et al.* (2015) a ACV é considerada a melhor ferramenta para avaliar a performance ambiental de produtos, capaz de identificar impactos ambientais diretos e indiretos das atividades humanas e a complexidade de suas

interações na busca por minimizar os impactos oriundos das atividades humanas (B. CORPORATION, 2008; THIRAMETOAKKHARA e LERKKASEMSAN, 2019).

A Figura 18 apresenta uma proposta de aplicação da ACV e da EC em um ciclo de produção.

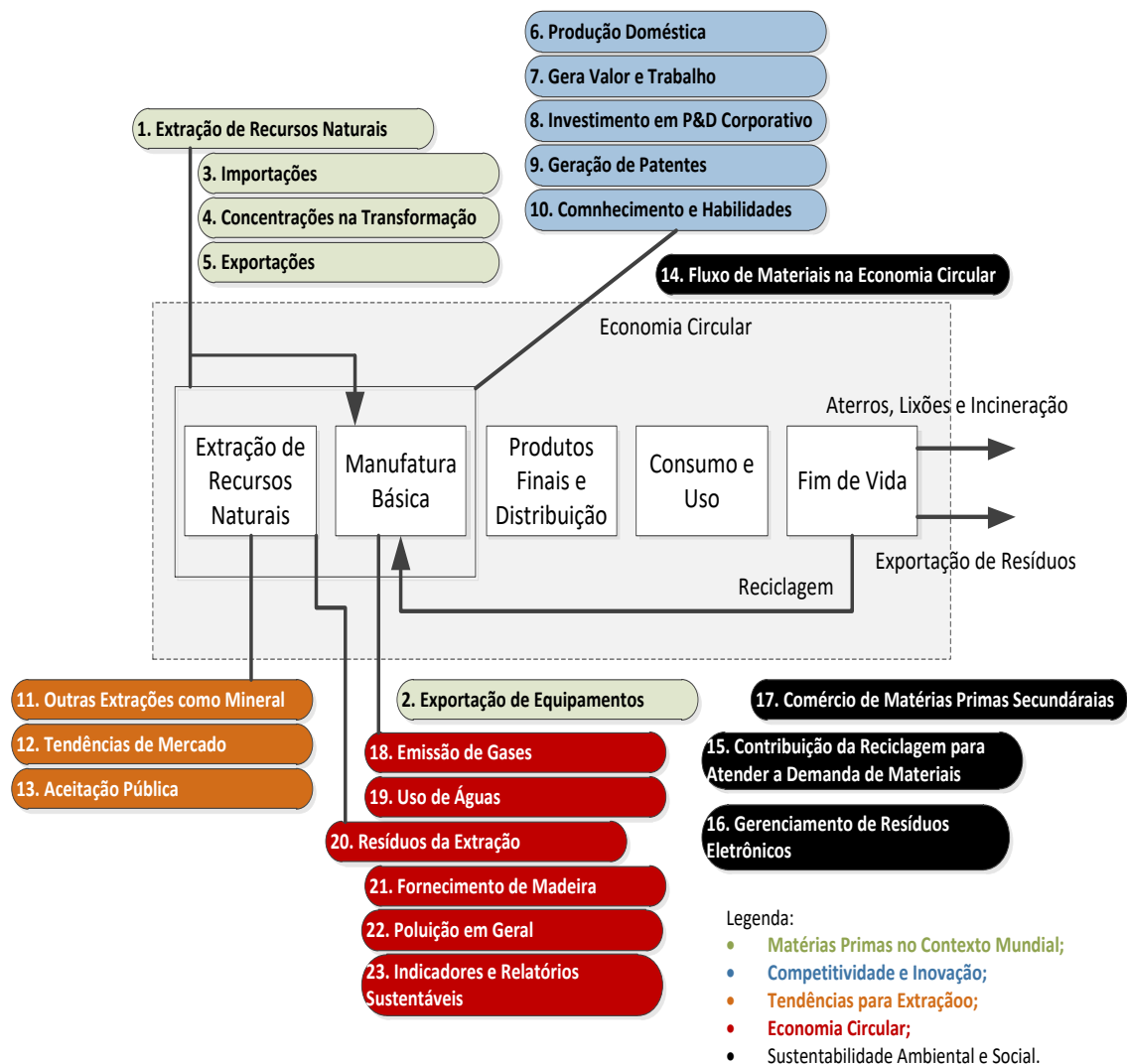


Figura 18 – Aplicação da ACV e EC em um ciclo de produção (adaptado de MANCINI et al., 2019).

Em cada uma das etapas do ciclo de produção são identificadas diversas possibilidades de interação do produto e sua cadeia com o meio ambiente permitindo uma gama considerável de oportunidades se forem integrados os conceitos da EC e da ACV no ciclo de vida de um produto. Entretanto, essa aplicação desencadeia ações sequenciadas para a reestruturação de toda a cadeia de suprimentos, incluindo os fornecedores e clientes dessa cadeia, o que gera os desafios na aplicação dessas metodologias.

Assim, defini-se o propósito de um estudo de ACV, em que se delimita os parâmetros do estudo. Após a definição do objetivo da ACV, na avaliação do inventário do ciclo de vida dos produtos os fluxos ambientais são classificados de acordo com o tipo de impacto ambiental causado, sendo caracterizados a partir de fatores, dependendo do indicador analisado e do seu efeito. Como indicadores, classificá-os como indicadores intermediários (*Midpoints*) e finais (*Endpoints*) (LEVASSEUR *et al.*, 2016), conforme apresentado na Figura 19.

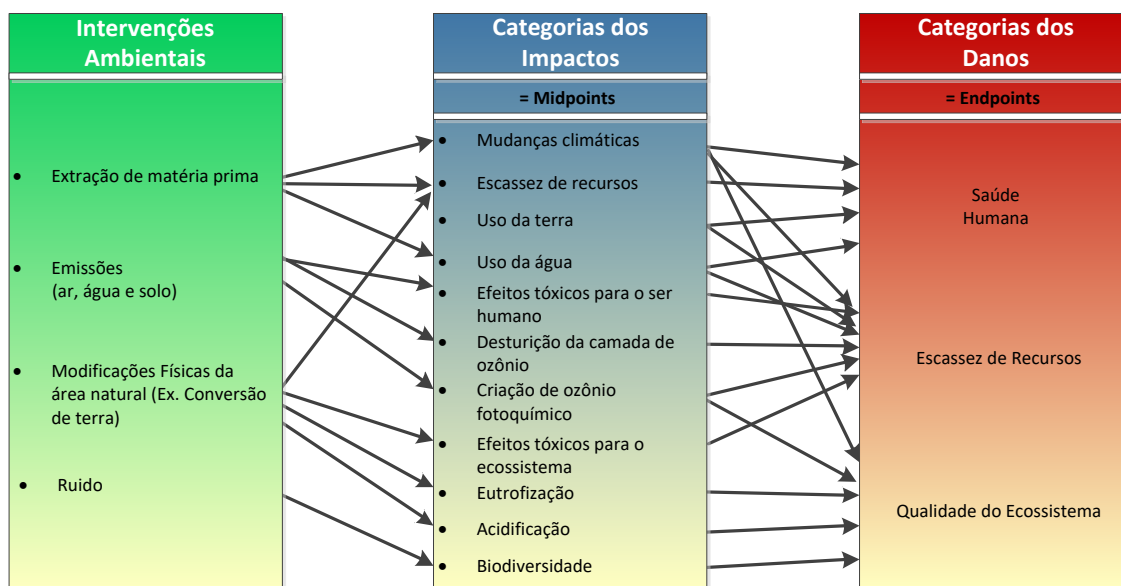


Figura 19 – Categorias de impactos no Inventário da ACV (adaptado de JOLLIET *et al.*, 2004; UNEP, 2011).

Na Figura 19 as intervenções ambientais são categorizadas por tipo de impacto que causam e seus respectivos danos, tal que a partir da classificação dessas intervenções, é necessária a proteção de algumas áreas que são afetadas, como: a saúde humana, escassez de recursos e qualidade do ecossistema, podendo observar que uma ação desencadeia vários impactos a um nível intermediário que afetam os indicadores finais de forma acumulativa, se ações de prevenção não forem tomadas.

Costa, Quinteiro e Dias (2019) fizeram um levantamento sobre a aplicação da ACV classificando os estudos em 4 categorias a partir das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Em sua classificação identificaram 49 artigos como estudos de caso, 33 como revisões, 33 como desenvolvimento metodológico, 22 como abordagem mista e 7 como pontos de vista. Apresentando que mais de 50% fazem parte de estudos realizados no setor privado, o que mostra a aplicabilidade desta ferramenta nas empresas.

2.3 Sistemas de Tratamento de Água

Segundo a SABESP (2019) há duas formas de tratamento presentes no Brasil: a estação de tratamento de esgotos (ETE), apresentada na Tabela 6, que atua no tratamento dos resíduos para minimizar o seu impacto ambiental e a estação de tratamento de águas (ETA) (Tabela 7) que atua a fim de proporcionar à comunidade água apta para consumo.

Tabela 6 – Etapas da Estação de Tratamento de Esgoto (SABESP, 2019).

Etapa	Tipo de Tratamento
I	Sistema de gradeamento – em que são retirados os sólidos grosseiros suspensos na água em diferentes granulometrias
II	Caixa de areia – são retiradas as areias por meio do processo de decantação deste tipo de contaminante
III	Decantador primário – que retira os sólidos pesados em suspensão por meio do processo de decantação
IV	Tanque de aeração – onde o esgoto passa por um processo microbiológico de decomposição do material orgânico com o fornecimento de ar para aumentar a eficiência do processo
V	Decantador secundário – onde o lodo formado vai para o fundo do tanque sobrando água 90% tratada mas, imprópria para o consumo humano

Tabela 7 – Etapas da Estação de Tratamento de Águas (SABESP, 2019).

Etapa	Tipo de Tratamento
I	Captação e bombeamento das represas
II	Pré coloração (adição de cloro visando a retirada de matéria orgânica e metais), Pré alcalinização (adição de cal ou soda a água para ajuste do ph) e Coagulação (adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante seguido de brusca agitação para desagregação dos poluentes)
III	Floculação – adição de sulfato de alumínio para aglutinar os poluentes e facilitar sua remoção
IV	Decantação – os flocos formados são retirados no fundo do tanque enquanto a água superficial segue para a próxima etapa
V	Filtração – a água passa por várias camadas filtrantes (pedra, areia e cascalho) para a retirada dos flocos menores que não decantaram no processo anterior
VI	Cloração (adição de cloro para a eliminação de microorganismos presentes na água) e Fluoretação (busca diminuir a incidência de cáries dentárias)
VII	Reservatório para armazenamento da água e posterior distribuição

Conforme observado nos processos, os sistemas de tratamento convencionais não apresentam processos específicos para a remoção de CTG's, principalmente os fármacos e pesticidas, de tal forma que Naidu *et al.* (2016) discutiram esta temática afirmando ser necessário o desenvolvimento e melhoria dos processos de tratamento de águas para a retenção desses contaminantes persistentes. Taheran *et al.* (2018) afirmaram que a maioria das ETA's são

projetadas para purificação de águas, mas não são capazes de tratar tais substâncias devido ao nível baixo de concentração.

Dantas *et al.* (2008) e Ahmed *et al.* (2016) alertaram para os problemas causados pela ineficiência do processo, como a necessidade de avaliação dos processos de tratamento visando reduzir os riscos da evolução dos microrganismos.

Deegan *et al.* (2011) e Ahmed *et al.* (2016) apontaram para as defasagens nos processos de tratamento dos CTG's quando submetidos aos sistemas tradicionais, em que as etapas físico-químicas do processo reduzem a concentração de parte desses contaminantes, sendo necessário o desenvolvimento de estudos para melhorar a eficiência e viabilizar sua aplicação nas estações tradicionais de tratamento.

O processo da cloração se destaca nesse cenário, pois consegue biodegradar os compostos farmacêuticos, principalmente os hormônios e compostos com fenóis, com baixa produção de produtos tóxicos, entretanto, podem ser formados elementos indesejáveis da reação do cloro com outros compostos orgânicos em águas como os trihalometanos, que podem prejudicar a saúde das populações (BRASIL, 2004), o que dificulta sua aplicação para a remoção de CTG's. Outros processos que conseguem remoção consistem nas membranas no processo de filtração (DEEGAN *et al.*, 2011) e uso de carvões ativados (AHMED *et al.*, 2016).

Além do processo físico-químico, o processo biológico consegue retirar parte dos CTG's, assim como os contaminantes emergentes, e se dividem em aeróbicos e os anaeróbicos, que apresentam bons índices na remoção dessas partículas (LUO *et al.*, 2014; MATAMOROS *et al.*, 2015; AHMED *et al.*, 2016). Esses processos variam de acordo com a oscilação da temperatura e característica dos resíduos, pois são realizados por microorganismos, não eliminando completamente os resíduos farmacêuticos.

Segundo Taheran *et al.* (2018), semelhante a outras linhas de fabricação convencionais, os sistemas de tratamento de água potável e efluentes seguem a estratégia linear de tratamento, em que há uma vida útil para os produtos e, após isso, ele deve ser descartado em lugares que não incomodem a população, conforme Figura 20a.

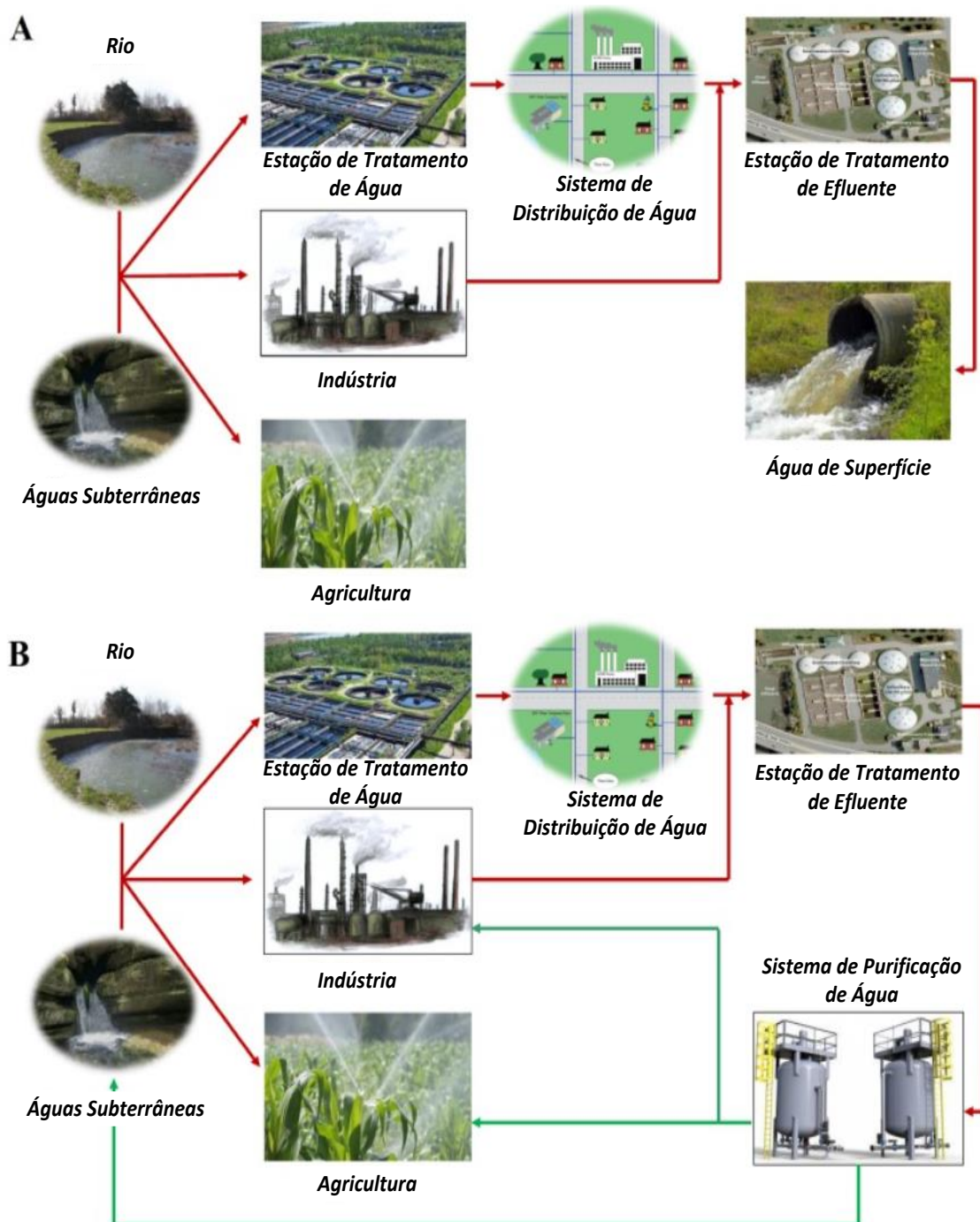


Figura 20 – Abordagem linear “A” e circular “B” para a gestão dos recursos hídricos (adaptado de TAHERAN et al., 2018) em que a linha vermelha representa o fluxo para frente do processo e a linha verde representa o fluxo reverso.

A busca pela EC deve atingir também o sistema de tratamento de águas, como já realizado com o alumínio e plásticos, no qual os produtos reciclados voltam para outras etapas do ciclo conforme Figura 20b. Estendida à distribuição de água e aos sistemas municipais de coleta de águas residuais, que atualmente liberam diferentes poluentes e contaminantes junto com o efluente de águas

residuais no meio ambiente, obriga as autoridades a alocarem fundos para tentar encontrar processos mais ecológicos e mais eficientes para os sistemas de tratamento de água e esgoto.

Estudos buscando melhorar esse cenário estão em constante desenvolvimento e a adsorção destaca-se por ser um processo eficiente e com capacidade de acúmulo de poluentes de diversas origens e estruturas, sendo importante seu conhecimento para aplicação da melhor forma de seu tratamento (HAN *et al.*, 2008; LIN e JUANG, 2009; AHMAD e HAMEED, 2010; YAGHMAEIAN; MOUSSAVI e ALAHABADI, 2014).

Segundo Al-Khateeb, Almotiry e Salam (2014) vários métodos são utilizados para a remoção de poluentes convencionais de águas poluídas como biorreator por membranas, tratamento de lodo ativado, oxidação fotocatalítica, ou adsorção, entretanto, de maneira geral não são utilizados para remover poluentes farmacêuticos. Tal que, dos métodos citados pelo autor, a adsorção é apontada como o método mais promissor, pois tanto a água como o material adsorvente podem ser reciclados e nenhum subproduto seria produzido.

2.3.1 Indústria Farmacêutica

Um dos principais vetores da indústria, a área farmacêutica é foco de estudos na busca por entender suas consequências ao meio ambiente devido à complexidade da sua cadeia de produção, distribuição e consumo.

Os poluentes farmacêuticos são considerados como Contaminantes de Terceira Geração (CTG), tendo como fator agravante não existirem regulações específicas, de tal forma que as diretrizes e os marcos legais não estão estabelecidos (RIVERA-UTRILLA *et al.*, 2013).

Ao redor do mundo, apenas algumas tentativas na União Europeia e América do Norte buscam fazer uma lista de prioridades e reduzir sua liberação (TAHERAN *et al.*, 2018).

Apesar de alguns fármacos apresentarem concentrações pequenas no meio ambiente, o fato de apresentarem elevada persistência e a contínua exposição podem causar impactos tanto no meio ambiente, quanto na saúde da população (YAN *et al.*, 2018).

Além disso, tem-se o fato de os poluentes farmacêuticos serem continuamente introduzidos no meio ambiente de tal forma que, mesmo se diluindo, apresentam concentrações que poluem o ecossistema de uma maneira geral, (KOLPIN *et al.*, 2002; YUAN *et al.*, 2009; SIRÉS e BRILLAS, 2012; YAN *et al.*, 2018), apresentando como principal vetor os leitos aquáticos.

Segundo Rivera-Utrilla *et al.* (2013) a poluição produzida pelos produtos farmacêuticos nas águas superficiais e subterrâneas tem sido reconhecida por muitos países como um problema ambiental e levou ao estabelecimento de um campo de pesquisa conhecido como a indústria farmacêutica no meio ambiente. Os resíduos farmacêuticos são resistentes à degradação, altamente persistentes em meio aquoso e potencialmente capazes de produzir efeitos adversos em organismos aquáticos, além de ter um impacto negativo na saúde humana.

Chen *et al.* (2016) alertaram a respeito dos fármacos no meio ambiente, apontando que, embora essas substâncias aumentem ano a ano nas águas de superfície, tem havido menos preocupação com o destino das águas superficiais ao solo, seus potenciais efeitos sobre as águas subterrâneas ou mesmo sobre o sistema ecológico.

Nesse cenário, a preocupação se agrava devido à variedade de classes, funcionalidades, propriedades químicas e estruturais, além das reações metabólicas que ocorrem quando os CTG's são ingeridos pelos seres vivos indiretamente (BILA e DEZOTTI, 2003; RIVERA-UTRILLA *et al.*, 2013; AHMED *et al.*, 2017).

Por outro lado, os fármacos são elementos essenciais para a manutenção da vida humana e animal, uma vez que tem como característica principal a de serem ativos e manterem suas características para tratamentos específicos (MASCOLO *et al.*, 2010) o que os torna persistentes as alterações ambientais (EPA, 2012).

Sapkota *et al.* (2008) e Guimarães *et al.* (2010) trouxeram à luz essa discussão a respeito da importância dos fármacos para a sociedade, afirmando que esses produtos são importantes no controle e morte de patógenos, outras bactérias e fungos que afetam a saúde humana e animal.

A indústria farmacêutica se tornou imprescindível para a manutenção da sociedade atual, entretanto, as consequências da sua evolução, aliada às características dos seus produtos e à baixa preocupação com seus efeitos ao meio ambiente (TAHERAN *et al.*, 2018) desenvolveram um cenário complexo de ser analisado, no qual este trabalho se insere.

De acordo com Mulroy (2001) e Aksu e Tunç, (2005) entre 50% e 90% de um fármaco consumido por um ser vivo é excretado inalterado no meio ambiente. Naidu *et al.* (2016) colocaram os poluentes fármacos como um dos principais Contaminantes Emergentes (CE), junto com os pesticidas, compostos químicos pessoais, aditivos industriais, conservantes alimentares e retardadores de chamas.

Assim, além dos impactos oriundos dos processos, eles têm diversas outras fontes de contaminação ao meio ambiente.

A Tabela 8 apresenta as diversas formas de interação desses poluentes com o meio ambiente, discutindo suas fontes de emissões a partir das ações humanas e os impactos que causam no ambiente e nos seres vivos, levando em consideração indicadores finais na análise ambiental realizada.

Algumas formas de contaminação são simples de serem controladas devido às fontes de emissão serem fáceis de serem monitoradas, pois concentram elevadas quantidades de resíduos específicos, porém, as mesmas geram concentrações residuais em quantidades que apresentam características de toxicidade devido ao seu volume (MASCOLO *et al.*, 2010).

Entretanto, outras fontes de contaminação não são tão simples de serem controladas ou tratadas devido à complexidade das fontes de emissão ou a diversidade dos elementos dispostos no meio ambiente.

Fontes de difícil conscientização, como as automedicações, o comércio ilegal, descartes rurais indevidos e usos para controle de pragas, são meios de contaminação de fármacos de difícil controle ambiental, se tornando grandes problemas para os ecossistemas (MULROY, 2001; BIJLSMA *et al.*, 2014).

Tabela 8 – Formas de interação dos CTG's de origem da indústria farmacêutica com o meio ambiente (adaptado de EPA, 2012; BUTKOVSKYI et al., 2018).

Ações Humanas	Fontes de Emissões	Impactos no Ambiente e Seres Vivos
Prescrições, auto medicação, mercado negro, uso humano e animal em geral	Descarte por desuso ou vencimento do medicamento via esgoto, vazamentos, decomposição dos animais que alimentam a cadeia alimentar	Impactos no solo, águas superficiais e subterrâneas, danos a saúde de forma direta
Hospitais, farmácias e profissionais da saúde	Descarte via esgoto e via terrestre para aterros sanitários controlados	Descartes inadequados via sistema de tratamento de água superficial, impactos no solo e águas continentais
Disposição em fossas sépticas	Lixiviação de contaminantes	Impactos no subsolo e águas subterrâneas
Esgoto não tratado de residências e áreas rurais	Usar os resíduos como biosólidos para a terra, descarte direto de esgoto doméstico, fertilização e pulverização de lavouras	Águas superficiais e subterrâneas, ecossistema aquático, solo, animais domésticos e silvestres e ser humano indiretamente
Descarte direto em áreas de lazer e recreação	Deposição de resíduos sólidos e líquidos em momentos de recreação	Impactos diretos e indiretos para as populações e ecossistemas de maneira geral
Descarte de resíduos industriais controlados, laboratórios clandestinos e drogas ilícitas	Esgotos convencionais não preparados para este tipo de resíduo, vazamentos e descartes incorretos	Impactos diretos e indiretos para as populações e ecossistemas em geral
Descarte direto em aterros de lixo domésticos, resíduo médico e outros perigosos	Lixiviação mal projetada desses ambientes	Impactos nas águas subterrâneas e subsolo
Disposição da aquicultura em águas naturais	Adbos utilizados para a criação de espécies sem rigoroso controle de contaminação	Impactos nas águas continentais e marítimas, variando a área da aquicultura
Usos de drogas para controle de pestes, pragas e doenças em áreas rurais	Usos incorretos, sem controle e sem precauções contra a disseminação desses elementos	Impactos na saúde dos seres vivos e ecossistemas ao redor diretamente, além de impactos indiretos aos demais ecossistemas em contato
Transporte e destino final dos CTG's para o ambiente	Transporte ocorre geralmente da terra para a água	Efeitos como a fototranspiração, alteração físicoquímica e algumas absorções pelas plantas

De outro lado, segundo Dinh *et al.* (2017), fontes de cadeias complexas como dos agronegócios difundem elementos poluentes em escalas cada vez mais extensivas, devido à falta de controle e monitoramento dessas atividades. Outro agravante consiste na incapacidade dos sistemas de tratamento de água em

tratar esses poluentes específicos, que diluem e difundem nas águas superficiais e subterrâneas em função do tempo (DANTAS *et al.*, 2008; AHMED *et al.*, 2017).

Devido a complexidade de interações entre os contaminantes fármacos e o meio ambiente, eles podem atingir tanto as águas superficiais como as subterrâneas e os aquíferos, alterando sua qualidade, afetando a saúde humana e o ecossistema terrestre (ZHANG *et al.*, 2003; CHEN *et al.*, 2016). Destaca-se, neste cenário, o risco de contaminação das águas superficiais, uma importante fonte de abastecimento para o ser humano, conforme apontado por diversos autores levantados no trabalho de Mastroianni *et al.* (2016) que identificaram rios com a presença dessas substâncias como o Llobregat em Barcelona.

O acúmulo dessas substâncias, associado a outras mudanças ocasionadas pelo ser humano como as mudanças climáticas, proporcionam mutações genéticas (CARVALHO e SANTOS, 2016) devido à sua toxicidade ser crônica e muitas vezes passada pelas gerações (TAHERAN *et al.*, 2018) e induzir os organismos a criarem resistências a esses compostos gerando maiores dificuldades para o tratamento das populações (BILA e DEZOTTI, 2003; CARVALHO e SANTOS, 2016), como as superbactérias nos hospitais.

2.3.2 Contaminantes de Terceira Geração (CTG's) – Antibióticos

Os antibióticos atuam no controle bacteriano de agentes patogênicos e são um dos compostos farmacêuticos mais utilizados, tanto para seres humanos como para animais (AKSU e TUNÇ, 2005; AHMED *et al.*, 2015).

Dentre todos os CE's, os antibióticos são a maior preocupação devido ao seu papel na formação de bactérias resistentes em concentrações baixas desses compostos onipresentes (NAZARET e AMINOV, 2014), uma vez que, nessas concentrações, aparentemente o antibiótico não pode matar as bactérias, mas as bactérias podem entrar em uma reação mutagênica, coagindo-as a desenvolver genes para protegê-las contra antibióticos. Além disso, eles podem propagar esses genes por meio de outras cepas bacterianas (TAHERAN *et al.*, 2018).

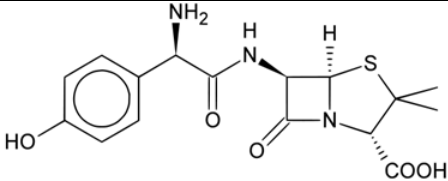
Antibióticos, por serem produtos farmacêuticos, são resistentes a degradação biológica e mantêm sua estrutura química por tempo suficiente para causar

efeitos adversos à saúde humana e ao ecossistema (AL-KHATEEB; ALMOTIRY e SALAM, 2014).

A amoxicilina consiste em um antibiótico indicado para o tratamento de infecções bacterianas causadas por germes, derivado do núcleo básico da penicilina, um dos antibióticos mais consumidos no mundo (AKSU e TUNÇ, 2005). Caracteriza-se por ser semissintética com a presença do anel β -lactâmico, que atua como agente destruidor da parede celular bacteriana, inibindo assim sua ação (AHMED *et al.*, 2015).

As características e propriedades físico-químicas da amoxicilina estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Propriedades físico-químicas da amoxicilina (adaptado de PAVLOVIC *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2009; YAGHMAEIAN; MOUSSAVI e ALAHABADI, 2014; PUBCHEN, 2017)

Parâmetros	Características/valores
Estrutura molecular	
CAS number	26787-78-0
Fórmula molecular	C ₁₆ H ₁₉ N ₃ O ₅ S
Massa molar	365,41 g.mol ⁻¹
Solubilidade em água	3430 mg.L ⁻¹ a 20°C
Constante de dissociação (pKa)	2,4 carboxila; 7,4 amina e 9,6 fenol
Constante de Henry a 20°C	2,73x10 ⁻¹⁹
Geometria molecular	0,745 x 0,433 x 0,941 nm

Visando desenvolver meios eficientes para a remoção da amoxicilina é importante conhecer suas características a fim de direcionar a preparação do material que irá removê-la. Devido à sua geometria e estrutura molecular, é necessária a presença de micro e mesoporos no material para a remoção desses contaminantes presentes na água (AHMAD *et al.*, 2014).

Outra característica é a solubilidade em água em temperatura ambiente, que contribui para que esse poluente não seja percebido visualmente em meio aquoso (AKSU e TUNÇ, 2005).

Segundo Reis Filho, Luvizotto-Santos e Vieira (2007), mesmo em pequenas proporções os antibióticos, especificamente a amoxicilina, constituem um problema devido à sua persistência no meio ambiente, aliados às reações com outros micropoluentes depositados nos meios aquosos. Pubchen (2017) afirmou que de 50% a 70% da amoxicilina é excretada com estrutura inalterada para o meio ambiente, por meio da urina, nas primeiras 6 horas após a ingestão.

Preocupações com o tratamento específico desses poluentes estão ganhando espaço nas pesquisas e na indústria, devido à quantidade desses poluentes que são despejados nos sistemas de tratamento de esgoto direta ou indiretamente (BUTKOVSKYI, *et al.*, 2018).

Enick e Moore (2007) afirmaram que cerca de 50% das águas residuais da indústria farmacêutica são descartadas sem o tratamento para a remoção desses contaminantes, uma vez que os sistemas de tratamento convencionais não são eficazes para remoção deste tipo de poluente.

Estudos identificaram e avaliaram a incidência da amoxicilina em matrizes aquosas ao redor do mundo, devido aos despejos residenciais e industriais locais, conforme apresentado na Tabela 10.

Observa-se que em diversos leitos de rios no mundo foi identificada a presença da amoxicilina em diferentes proporções, muitas vezes mesmo após a passagem dos resíduos domésticos e industriais por processos convencionais de tratamento, como os rios Taff e Orge.

Destaca-se a quantidade de amoxicilina encontrada no Rio Nagpur (Índia) e no Rio Atibaia (Brasil), uma vez que a quantidade de amoxicilina por litro apresentou valores alarmantes, que passam do dobro dos valores encontrados em rios europeus no caso do rio brasileiro e quase 20 vezes mais no caso do rio indiano.

Naidu *et al.* (2016) abordaram este assunto descrevendo que as fontes dos contaminantes emergentes e persistentes são as mesmas que as dos poluentes tradicionais, pois esses entram no meio ambiente por meio de processos pontuais (liberados por locais específicos como os despejos industriais) e os não pontuais (fontes difusas que normalmente ocorrem em grandes áreas).

Tabela 10 – Diferentes ocorrências da amoxicilina em vários meios de dispersão de poluentes (Compilado pelo próprio autor).

Matriz	Concentração (ng.L⁻¹)	Local	Referência
Água superficial - Rio		Rio Orge (França)	Dinh <i>et al.</i> , 2017
Água superficial - Rio	12	Índia	Prabhasankar <i>et al.</i> , 2016
Água superficial - Rio	27,2	Tamil Nadu (Índia)	Subedi <i>et al.</i> , 2015
Água superficial - Rio	180	Índia	Subedi <i>et al.</i> , 2014
Água superficial - Rio	1.284	Rio Atibaia (São Paulo, Brasil)	Locatelli, Sodr�e e Jardim, 2011
Água superficial - Rio	200	Queensland (Alemanha)	Watkinson <i>et al.</i> , 2009
Água superficial - Rio	10-622	Rio Taff e Ely (Gales, Reino Unido)	Kasprzyk-Hordern, Dinsdale e Guwy, 2008
Água superficial - Rio	39-245	Rio Taff (Gales, Reino Unido)	Kasprzyk-Hordern, Dinsdale e Guwy, 2007
Efluente ETA	11670	Nagpur (Índia)	Archana; Dhodapkar e Kumar, 2016
Efluente ETA	9	Índia	Prabhasankar <i>et al.</i> , 2016
Efluente ETA	17,5	Tamil Nadu (�ndia)	Subedi <i>et al.</i> , 2015
Efluente ETA	28	�ndia	Subedi <i>et al.</i> , 2014
Efluente ETA	18	Varese (It�lia)	Zuccato <i>et al.</i> , 2010
Efluente ETA	60-1670	Porto de Vit�ria (Hong Kong)	Minh <i>et al.</i> , 2009
Efluente ETA	6940	Queensland (Austr�lia)	Watkinson <i>et al.</i> , 2009
Efluente ETA	50	Queensland (Austr�lia)	Watkinson <i>et al.</i> , 2009
Efluente hospitalar	900	Queensland (Austrália)	Watkinson <i>et al.</i> , 2009
Alimento - rim bovino	34	Alemanha	Becker; Zittlau e Petz, 2004
Alimento - carne bovina	38-60	Alemanha	Becker; Zittlau e Petz, 2004

Assim, como a maioria dos fármacos, a remo o da amoxicilina dos leitos aquosos se torna imprescindível para a melhoria na qualidade de vida dos seres vivos (PUTRA *et al.*, 2009). Entretanto, os métodos aplicados no sistema convencional não eliminam completamente esses contaminantes das  guas para abastecimento humano.

A Tabela 11 apresenta alguns estudos que aplicaram diferentes métodos para a remoção da amoxicilina.

Tabela 11 – Diferentes métodos para a remoção da amoxicilina (adaptado de PLENS, 2018).

Processo	Matriz	Concen- -tração (mg.L ⁻¹)	Taxa de remoção	Observações	Referência
Adsorção com carvão ativado	Padrão em água	20	74-88% (8 horas)	Bom desempenho quando comparado aos demais métodos para a remoção de ampla gama de fármacos, no entanto possui elevado custo de matéria prima e regeneração	Chayida e Ahmed (2015)
Nanotubos de Carbono	Padrão em água	80	85% (120 horas)	Apresentam boa remoção para as tetraciclinas, no entanto tem elevado custo de matéria prima e regeneração	Mohammadi <i>et al.</i> (2015)
Nanopartículas de Fe ⁰	Padrão em água	20	100% (3 horas)	A amoxicilina é degradada sofrendo abertura do anel β -lactâmico, adsorção em produtos de corrosão do ferro e precipitação. Foram identificados produtos de degradação.	Ghauch, Tuqan e Assi (2009)
Nanofiltração	Padrão em água	0,50	65 – 99%	Na presença de alginatos a taxa de remoção é superior, no entanto também provoca <i>fouling</i> da membrana.	Zazouli <i>et al.</i> (2009)
Adsorção com quitosana	Padrão em água	0,2 – 3,0	70%	Os autores estudaram apenas dois modelos de isotermas.	Adriano <i>et al.</i> (2005)
Permuta iônica	Efluente de sistema de recuperação de água	10	100%	A amoxicilina compete com outros ânions nas reações de permuta. Processo caro na presença de muitos íons, como é o caso de efluentes.	Morse e Jackson (2004)
Degradação UV	Efluente de sistema de recuperação de água	10	100%	Amoxicilina é degradada sem necessidade de separação de subprodutos após o tratamento, no entanto o processo apresenta elevado custo e não pode empregar radiação solar.	Morse e Jackson (2004)

Observa-se que vários processos buscaram remover a amoxicilina de águas, entretanto, algumas barreiras podem ser observadas na busca por padronizar

esses métodos de tratamento nos sistemas de tratamento de águas convencionais:

- Alto custo de implantação dos sistemas, conforme apontado pelos autores nos sistemas com carvão ativado (CHAYIDA e AHMED, 2015), nanotubos de carbono (MOHAMMADI *et al.*, 2015), permuta iônica e degradação UV (MORSE e JACKSON, 2004);
- Resíduos gerados na preparação dos materiais, como apontado nos estudos com nanopartículas de Fe⁰ (GHAUCH; TUQAN e ASSI, 2009) e nanofiltração (ZAZOULI *et al.*, 2009);
- Reações não programadas, conforme observado nos estudos com nanofiltração (ZAZOULI *et al.*, 2009); e
- Utilização de grandes quantidades de energia para realização da remoção, como observado em alguns estudos com carvão ativado (CHAYIDA e AHMED, 2015) e degradação UV (MORSE e JACKSON, 2004).

Para a viabilização de uma técnica para a remoção de CTG's, se faz necessário equalizar o volume do material produzido, seu custo de obtenção e eficiência do processo de remoção. Nesse sentido, o carvão ativado apresentou a característica de poder retirar uma grande variedade de fármacos, o que demonstra a capacidade de retenção de poluentes específicos (CTG's) deste tipo de material por meio do processo de adsorção, sendo um importante fenômeno a ser estudado visando a sua viabilização.

2.4 Processo de Adsorção

O fenômeno de adsorção é caracterizado pelo acúmulo de uma substância (adsorbato) sobre a superfície de outra (adsorvente), fazendo com que fique retida nos poros do adsorvente. A adsorção pode ocorrer no sistema sólido-líquido, sólido-gasoso ou líquido-gasoso (AHMED; MARSHALL e RAOA, 2000).

A migração desses componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o fluido que escoar e a superfície do adsorvente. Usualmente, o adsorvente é composto de partículas que são

empacotadas em um leito fixo por onde a fase fluída passa continuamente até que não haja mais transferência de massa (BRUCH; COLE e ZAREMBA, 2007).

Como o adsorbato concentra-se na superfície do adsorvente, quanto maior for esta superfície, maior será a eficiência de adsorção (MASEL, 1996; BRUCH; COLE e ZAREMBA, 2007).

Segundo Aksu e Tunç (2005) a eficiência do processo é influenciada pelas propriedades do adsorbato e do adsorvente correlacionando com a composição do fluido a ser tratado, o que requer conhecimento e adaptação constante do processo.

Dependendo da força de adsorção, isto é, da força das ligações que ocorrem entre as moléculas que são adsorvidas e o adsorvente, diferencia-se dois tipos principais de adsorção: a física e a química.

A adsorção física (fisissorção) é causada pela interação molecular envolvendo as forças de *Van der Waals* e caracteriza-se por uma espécie de condensação do vapor para formar o líquido, não ocorrendo quebra de ligação e, conseqüentemente, não alterando a natureza química do adsorbato (BRUCH; COLE e ZAREMBA, 2007).

Ainda segundo os autores, na adsorção química (quimissorção) formam-se ligações entre o adsorvente e o adsorbato, resultante de uma reação química que é restrita a primeira camada superficial do adsorvente.

Nesse sentido, o adsorbato sofre uma mudança química e é geralmente dissociado em fragmentos independentes, formando radicais e átomos ligados ao adsorvente, o que gera dois problemas distintos desse mecanismo de adsorção: a natureza da ligação superficial e a natureza do radical sobre a superfície.

Os principais critérios para a diferenciação entre os tipos de adsorção são apresentados na Tabela 12 (AHMED; MARSHALL e RAOA, 2000; BRUCH; COLE e ZAREMBA, 2007).

Tabela 12. Diferenças entre adsorção física e química (adaptado de AHMED; MARSHALL e RAOA, 2000; BRUCH; COLE e ZAREMBA, 2007)

Adsorção Física	Adsorção Química
Baixo calor de adsorção	Calor de adsorção na ordem de entalpias de reação
Não específica	Altamente específica
Mono ou multicamadas	Somente monocamada
As moléculas adsorvidas não sofrem dissociação	Pode ocorrer dissociação das moléculas
Ocorre a baixas temperaturas	Ocorre a altas temperaturas
Não precisa de ativação, rápida e reversível	Precisa de ativação e pode ser irreversível
Não há transferência de elétrons, mas pode ocorrer polarização do adsorbato	Há a transferência de elétrons, levando a formação de ligação química

As diferenças entre os processos de adsorção química e física estão relacionadas com os tipos de poluentes a serem tratados e a aplicação dos materiais adsorventes, para aumentar a eficiência na remoção dos poluentes. Visando facilitar a compreensão dos critérios, os mesmos são detalhados na Tabela 13.

Tabela 13 – Definição das características da adsorção (AHMED; MARSHALL e RAOA, 2000; BRUCH; COLE e ZAREMBA, 2007).

Característica da Adsorção	Definição – Adsorção Física	Definição – Adsorção Química
Calor de adsorção	O calor liberado por um mol de gás adsorvido normalmente é compreendido entre a região de 2 a 6 kcal.mol ⁻¹ e, em determinados momentos, o calor de liquefação do gás em questão excede em um valor de 2 ou 3 vezes.	O calor de adsorção raramente é menor que 20 kcal.mol ⁻¹ .
Velocidade de adsorção	As forças de dispersão (como a liquefação) ocorrem rapidamente, pois não exigem ativação.	Requer ativação, consequentemente tornando o processo mais vagaroso.
Temperatura da adsorção	As forças de dispersão (como a liquefação) ocorrem rapidamente, pois não exigem ativação.	Requer ativação, consequentemente tornando o processo mais vagaroso.
Especificidade	Baseia-se na interação gás sólido, uma vez que a interação física é efetivamente um processo de condensação de gás, o adsorbato produz uma ou mais camadas sobre o sólido inerte.	A adsorção química é uma reação confinada à superfície de sólidos e, como as reações são específicas, a adsorção ocorre segundo as características do gás e do sólido envolvido.

Segundo Grover *et al.* (2011) e Huang *et al.* (2019) o componente mais utilizado nos processos de adsorção são os Carvões Ativados (CA) devido à presença de microporos e à capacidade de adsorver poluentes em diversos estados físicos.

Assim, estudos buscaram preparar os carvões ativados a partir de compostos naturais, para identificar a capacidade desses materiais na retenção de poluentes (GENÇ, 2015; MITCHELL *et al.*, 2015).

Genç (2015) utilizou argila mineral para remoção do contaminante Flouroquinolas e conseguiu uma eficiência de 99% em um sistema com 30 minutos de duração, enquanto que Mitchell *et al.* (2015) aplicaram *biochar* para a remoção de anfenicol e ceftiofur, cujos valores foram próximos de 100% de remoção em 24 horas de operação.

2.4.1 Isotermas de Adsorção

Para especificar o equilíbrio de adsorção, as isotermas são uma forma de estudar e interpretar o comportamento do fenômeno e a interação entre adsorvente e adsorbato envolvidos no processo, estabelecendo a relação entre a quantidade adsorvida e a pressão de equilíbrio do gás (IUPAC, 1985).

Referente ao mecanismo de interação entre sólido e gás, de acordo com Rouquerol, Rouquerol e Sing (1999) os trabalhos pioneiros, realizados em 1911, observaram que a condensação de vapor pode ocorrer em estrutura de poros muito finos e que a condensação capilar desempenha um importante trabalho na adsorção dos sólidos.

Em 1934, Emmet e Brunauer realizaram o levantamento de isotermas gasosas de nitrogênio em baixa temperatura (77K), a fim de determinar a área superficial específica (ASE) de catalisadores a base de ferro.

Para a determinação da Área Superficial Específica (ASE), comumente aplica-se o método de Brunauer, Emmett-Teller (BET), que surgiu devido à necessidade de explicar as isotermas de adsorção. Além do seu significado teórico, este método permite encontrar a medida da área da superfície e de calores de adsorção (MORENO *et al.*, 2005).

A ASE de um material carbonoso é composta por microporos (diâmetro menor que 2 nm), mesoporos (diâmetro entre 2 nm e 50 nm) e macroporos (diâmetro maior que 50 nm), que definem a capacidade adsortiva do material em conjunto com o volume de poros e a estrutura química da superfície (IUPAC, 1985). Sendo assim, quanto maior a ASE, maior a porosidade do material.

Esses valores são arbitrários, uma vez que o preenchimento dos poros durante a adsorção refere-se também ao formato do poro presente no material adsorvente. Os poros são classificados como abertos ou fechados, de acordo com sua disponibilidade ao acesso do fluido. A Figura 21 representa os diferentes tipos de poros existentes nos materiais carbonosos. Os poros abertos são representados pelas letras **b**, **c**, **d**, **e**, **f** e **g**, já **a** indica o poro fechado, o qual é inacessível ao fluxo de fluidos, porém influencia nas características mecânica, térmica e de densidade do material.

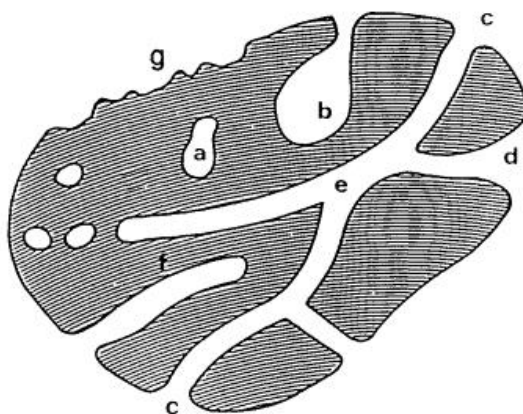


Figura 21 – Representação dos diferentes tipos de poros: (a) fechados, (b) gargalo de garrafa ou tinteiro, (c) cilíndricos, (d) afunilados ou funil, (e) interconectados, (f) irregulares ou discretos. A letra (g) representa a rugosidade da superfície (ROUQUEROL et al., 1994).

A teoria BET leva à uma equação com duas constantes e emprega as mesmas considerações iniciais feitas com a equação de Langmuir, em que a adsorção ocorre na monocamada. Considera que cada espécie adsorvida na primeira monocamada serve como sítio para a adsorção na segunda e cada espécie da segunda serve para a terceira e, assim por diante, desprezando as interações laterais e assumindo uma superfície homogênea (ROUQUEROL; ROUQUERL; SING, 1999; MORENO et al., 2005).

Essa teoria considera que no equilíbrio, a velocidade de adsorção (condensação) na superfície é igual à velocidade de dessorção (evaporação) da primeira monocamada, do mesmo modo como a velocidade de adsorção da primeira é igual à velocidade de dessorção da segunda, seguindo sucessivamente. Outra consideração simplificadora é a de que o calor de adsorção ou condensação é o mesmo na segunda camada e em cada uma das subsequentes, assim como o calor de liquefação do gás. Se o calor de adsorção

da primeira camada for diferente do calor de liquefação, significa que as características de condensação e evaporação da segunda camada, e nas subsequentes, são as mesmas da superfície do adsorbato (TIMMERMANN, 2003; MORENO *et al.*, 2005).

A classificação das isotermas de equilíbrio de adsorção é dividida em seis tipos característicos, representados na Figura 22.

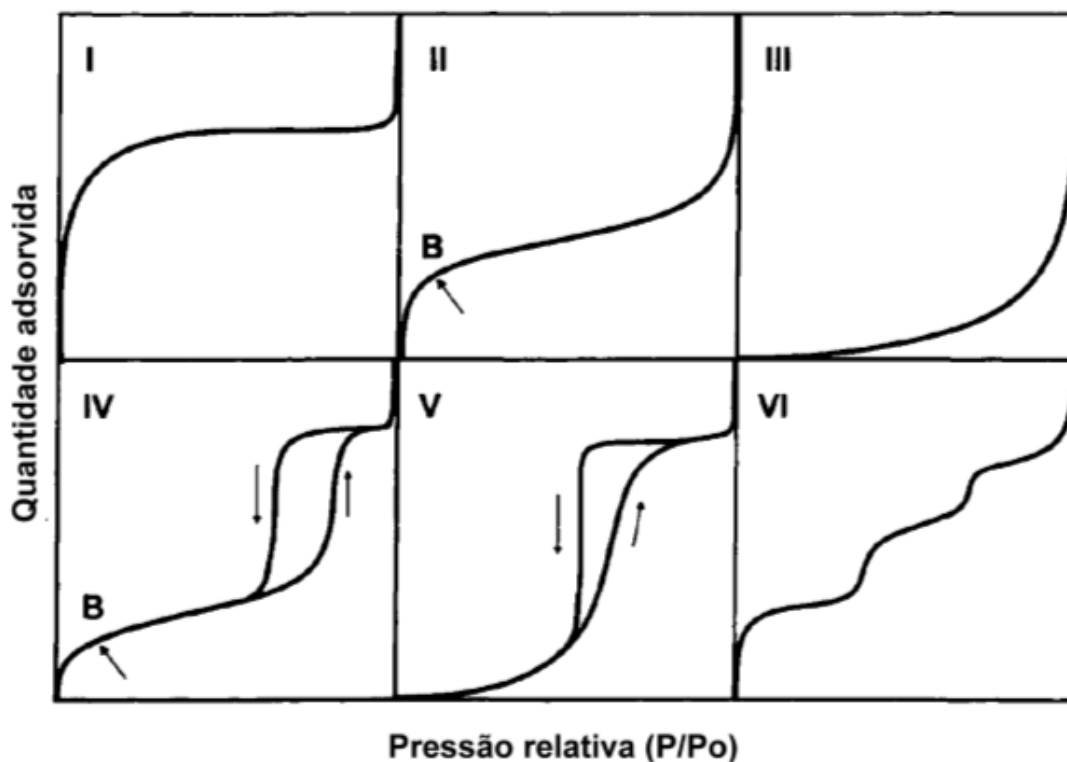


Figura 22 – Classificação das isotermas de adsorção (IUPAC, 1985).

A isoterma do tipo I caracteriza-se por apresentar elevada adsorção em baixos patamares de pressão relativa, que corresponde ao mecanismo de adsorção de microporos com áreas externas desprezíveis, como apresentado pelas zeólitas e carvões ativados. O patamar que corresponde ao enchimento completo dos microporos é proporcional ao volume de microporos (V_{micro}). Esta isoterma representa também a adsorção química, caso em que o valor limite corresponde à formação de uma camada monomolecular adsorvida nos centros ativos (SMÍSEK e CERNY, 1970; IUPAC, 1985).

As isotermas dos tipos II e III caracterizam a adsorção em multicamadas. Podem ocorrer em sólidos não porosos (a adsorção ocorre na superfície externa das partículas do material), em sólidos macroporosos ou ainda em materiais com

mesoporos de geometria tal que a condensação só pode ocorrer à pressão de saturação (caso dos mesoporos em forma de fenda entre placas paralelas). O ponto B indica o final da adsorção completa na monocamada e o início da adsorção em multicamadas (SMÍSEK e CERNY, 1970; IUPAC, 1985).

As isotermas dos *tipos IV e V*, que apresentam um patamar bem definido a pressões relativas altas, indicam a ocorrência de condensação capilar. O patamar corresponde ao enchimento de todos os poros com o adsorvido no estado líquido. Assim, o volume de poros pode ser estimado pela chamada regra de *Gurvitsch*, convertendo a quantidade máxima adsorvida, n_{sat}^a , lida no patamar, em volume de líquido: $V_p = n_{sat}^a V_M^L$, sendo V_M^L o volume molar do

adsorvido no estado líquido. Estas isotermas são observadas em sólidos com mesoporos de geometria que permitem a ocorrência de condensação capilar a pressões relativas inferiores à unidade (por exemplo, poros cilíndricos, cônicos, em forma de tinteiro) (SMÍSEK e CERNY, 1970).

A isoterma de tipo VI representa a adsorção em multicamadas sobre uma superfície uniforme não porosa, onde a adsorção se mantém constante durante duas ou três camadas seguidas. Tem-se como exemplo as isotermas obtidas com adsorção de argônio ou criptônio em fumo negro (IUPAC, 1985).

2.4.2 Adsorção em Leito Fixo

A adsorção em leito fixo é muito utilizada na remoção de poluentes de leitos aquosos, consistindo em uma técnica de passagem de fluido contaminado por meio de uma coluna onde está alocado o material adsorvente.

O emprego desta técnica visa aumentar a eficiência no processo de tratamento de água, uma vez que força a passagem do contaminante pelos poros dos adsorventes ocorrendo a remoção seletiva dos elementos contaminantes.

O desempenho do leito é avaliado por meio da interpretação da curva de ruptura em uma correlação de variação da concentração do poluente em função do tempo (PARK e KNAEBEL, 1992; TIEN, 2019), conforme Figura 23.

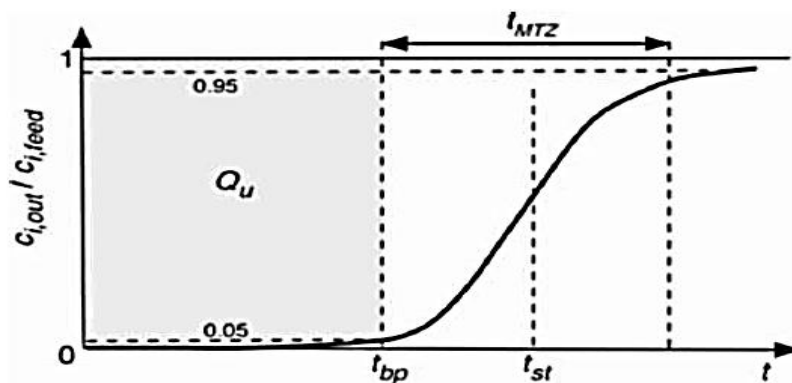


Figura 23 – Modelo da curva de ruptura em leito fixo (RODRIGUES, 2004).

A taxa de transferência de massa varia em função do tempo, apresentando como característica a maior adsorção no início do processo devido a interação do poluente com o material adsorvente, saturando o material em função do tempo do fluxo. Após a identificação da curva, é possível obter os valores da zona de transferência (MTZ) que consistem na área total em que ocorreu a adsorção e a fração do leito não utilizado (LUB - *Length of Unused Bed*) durante o processo de adsorção.

2.4.3 Materiais Adsorventes

O processo de adsorção de contaminantes em meio aquoso exige um material com características próprias para a otimização de seus poros por meio dos processos físico-químicos de preparação, nos quais a capacidade de retenção dos poluentes tende a aumentar.

O Carvão Ativado (CA) consiste no material adsorvente comumente utilizado no processo de adsorção devido a sua eficiência e viabilidade, contudo o CA comercialmente disponível possui custo elevado (SALMAN, 2013). A utilização do CA é na forma de pó, granulado ou tecido, o que contribui para a remoção de poluentes de águas residuais (DEMIRBAS, 2009), além do fato de as fibras serem de origem natural ou química.

Segundo Salman (2013) o uso de carvões a base de tecidos sintéticos é eficiente para a remoção dos poluentes, devido à sua área específica elevada aliada à força mecânica do material, entretanto a preparação do mesmo traz um custo elevado.

De acordo com Ahmed *et al.* (2015) para a escolha do material a ser utilizado como CA é preciso avaliar sua eficiência na remoção do poluente, o processo de adsorção realizado e os custos de preparação e regeneração dos materiais. Os autores compararam em seus estudos o custo e a eficiência de quatro diferentes matérias primas para a remoção de alguns antibióticos, entre eles a amoxicilina, (Figura 24) apresentando como eficiência de remoção uma variação de 74 a 100% dos fármacos analisados.

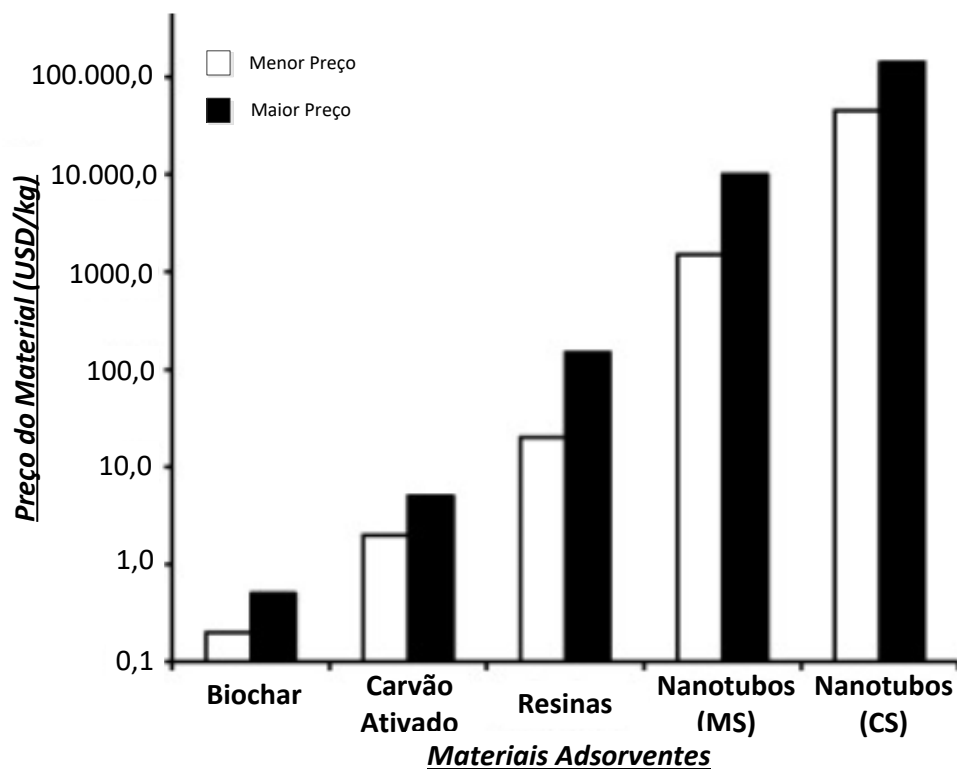


Figura 24 – Custo dos diferentes materiais analisados (Adaptado de AHMED *et al.*, 2015).

* Nanotubos (MS) – Nanotubos de Carbono em Multicamadas.

** Nanotubos (CS) – Nanotubo de Carbono em Camadas Simples.

O *biochar* apresentou menor custo quando comparado aos demais materiais utilizados como adsorventes, devido ao custo baixo na obtenção da matéria prima e seu ciclo de produção ser considerado fechado.

Com isso, vários autores focaram seus estudos para a preparação de carvões ativados de origem vegetal, devido ao baixo custo da matéria prima, o que pode contribuir na redução do custo de preparação desses materiais, o que deu início a produção do *biochar*, em substituição aos carvões ativados sintéticos, especialmente no tratamento de águas residuais.

Como exemplos, destacam-se o CA de palmeira (TAN; HAMEED e AHMAD, 2007), de bagaço de resíduos agrícolas diversos (TSAI *et al.*, 2001), de cascas de pistache (WU; TSENG e JUANG, 2005) e de casca de mandioca (RAJESHWARISIVARAJ *et al.*, 2001).

O uso de matérias primas renováveis permite uma maior diversidade de materiais a serem testados, facilita o processo laboratorial e permite testes com as vegetações nativas, o que diminui os custos tanto experimentais como comerciais, além de apresentar resultados eficientes na remoção dos poluentes.

2.4.4 Biochar

O Carvão Vegetal (CV), comumente denominado *biochar*, é definido como um material sólido obtido da conversão termoquímica da biomassa em ambiente com oxigênio controlado (LEHMANN e JOSEPH, 2015). A produção desse material tem se difundido em todo o mundo devido à matéria prima ser abundante e de baixo custo, bem como por ser obtida da agricultura ou de resíduos sólidos (XU; CAO e ZHAO, 2013; TAN *et al.*, 2015; SHEN *et al.*, 2017).

Dentre as características específicas do *biochar* destacam-se a presença de ASE, porosidade, superfície rica em grupos orgânicos (nitrogenados e oxigenados) e minerais, permitindo sua utilização na remoção de poluentes presentes na água (Chen *et al.*, 2011; QIAN *et al.*, 2013; TAN *et al.*, 2015; TITIRICI *et al.*, 2015;).

Comparado ao CA sintético, o *biochar* apresenta-se como potencial adsorvente devido à sua eficiência de remoção e baixo custo, tanto para a obtenção da matéria prima quanto para a produção. A conversão da biomassa em *biochar* como material adsorvente estabelece uma relação “ganha-ganha” tanto para melhorar a gestão de resíduos como para a proteção do meio ambiente (ZHENG *et al.*, 2013; CAO *et al.*, 2014; TAN *et al.*, 2015).

Nesse sentido, a utilização de recurso renovável como matéria prima traz benefícios econômicos e ambientais, uma vez que seu ciclo natural contribui com os serviços ecossistêmicos na fase de crescimento, que são compensadores dos impactos gerados em sua fase de transformação em CV, tornando-o um recurso

promissor para as tecnologias ambientais utilizadas no tratamento das águas, como mostra a Figura 25.



Figura 25 – Os benefícios da aplicação do biochar como alternativa no tratamento de efluentes (adaptado de TAN *et al.*, 2015).

As matérias primas utilizadas na produção do *biochar*, quando em desenvolvimento, absorvem o gás carbônico da atmosfera para realizarem a fotossíntese e o carbono é devolvido ao meio na mesma velocidade em que é sintetizado pelos produtores. Dessa forma, o carbono é renovado na atmosfera por meio da evapotranspiração, que conduz o carbono da fase inorgânica à fase orgânica e de volta à fase inorgânica, concluindo o ciclo biogeoquímico. No ciclo biológico, a remoção de parte de carbono da atmosfera excede os limites da respiração, quando a matéria orgânica se acumula em depósitos sedimentares que se decompõem em combustíveis fósseis (TAN *et al.*, 2015).

A decomposição térmica da matéria prima (pirólise) em ambiente controlado de oxigênio, resulta na produção do *biochar*, que propicia a modificação da estrutura porosa do material, o qual favorece o fenômeno da adsorção devido ao aumento da ASE e desenvolvimento de novos poros. Nesse sentido, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para o tratamento de poluentes, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – Trabalhos publicados aplicando biochar para o tratamento de efluentes, de uma maneira geral, e poluentes específicos (compilado pelo próprio autor).

Autor / Ano	Tipo Matéria Prima	Tipo Efluente	Poluente Tratado
Anderson <i>et al.</i> , 2011	Madeira de pinus	Tratamento de solo	Controle bacteriano
JIANG <i>et al.</i> , 2014	Palha de amendoim, soja, canola e arroz	Metais pesados	Chumbo
Li <i>et al.</i> , 2015	<i>Biochar</i> de hortaliças	Fertilizantes	Emissão de gases de efeito estufa
Zhanga <i>et al.</i> , 2015	Palha	Caracterização do <i>biochar</i>	-
Dasa <i>et al.</i> , 2015	Resíduos orgânicos adicionados com madeira e plástico	Resíduo de aterro	-
Yargicoglua <i>et al.</i> , 2015	Resíduos de madeira	Caracterização do <i>biochar</i>	-
Gwenzia <i>et al.</i> , 2015	Revisão teórica	-	-
Bussa <i>et al.</i> , 2015	Paletts de madeira	Químico	Fenóis, poluentes orgânicos e ácidos orgânicos
Joseph <i>et al.</i> , 2015	Biomassa vegetal e animal	Agricultura	Pecuária
Qiua <i>et al.</i> , 2015	Resíduos vegetais (9) e animais (3)	Metais pesados	Metais e hidrocarbonetos aromáticos
Wang <i>et al.</i> , 2015	Resíduos sólidos urbanos (bio-óleo)	Resíduo sólido urbano	Resíduo sólido urbano
Fernandez-Lopez <i>et al.</i> , 2016	Esterco e dejetos suínos	Agricultura	Biomassa restante
Jaina <i>et al.</i> , 2016	Capim-Limão	Resíduos ácidos	Ácido e fosfato alcalino
Kupryianchyka <i>et al.</i> , 2016	Madeira, esterco, desperdício de alimentos, resíduos fábrica de papel, madeira de pinus, grama	poluentes orgânicos	Tetraclorobifenil
Zhanga e Wangb, 2016	Bagaço de cerveja	Lodo de cervejaria	Amonia-Azoto
Kuppusamy <i>et al.</i> , 2016	Revisão teórica	-	-
Zhang <i>et al.</i> , 2016	Lascas de madeira	Hidrocarbonetos de petróleo	Hidrocarbonetos aromáticos
Jin <i>et al.</i> , 2016	Algas	Metais pesados	Cobre
Ebrahimia <i>et al.</i> , 2016	Raízes	Fertilizantes	Diversos (agricultura)
Kyung-Won <i>et al.</i> , 2016	Raízes (<i>U. Pinnatifida</i>)	Fertilizantes	Fosfato

As matérias primas mais utilizadas como CV consistem nos resíduos sólidos, a geração de serragem e cavacos de madeira que propiciam sua aplicação na produção de *biochar*, uma vez que possuem elevada quantidade de matéria orgânica e estão presentes de diversificadas formas no ambiente.

Para a produção do *biochar*, tanto a matéria prima quanto o método de preparação influenciam nas características finais do material. Os carvões são produzidos em forma sólida e seca, por meio dos processos de gaseificação da biomassa, carbonização hidrotérmica ou pirólise (AHMAD *et al.*, 2014).

Segundo Yargicogiu *et al.* (2015) o *biochar* é produzido por decomposição termoquímica da biomassa em temperaturas de 200 °C à 900 °C na ausência ou baixa concentração de oxigênio, que caracteriza o processo de pirólise. Na pirólise, os fatores cruciais para a obtenção de um produto com estrutura porosa desenvolvida são a temperatura de preparação e a taxa de aquecimento. A Tabela 15 apresenta os processos de pirólise, bem como o rendimento em massa do material obtido nas diferentes formas de preparação.

Tabela 15 - Processos de pirólise e rendimento do biochar (compilado pelo próprio autor).

Processo	Temperatura (°C)	Isoterma (Tempo)	Rendimento em massa (%)	Referência
Lenta	400 – 600	min – dias	20 – 40	González <i>et al.</i> (2009); Uchimiya <i>et al.</i> (2011); Antal <i>et al.</i> (2000)
	100 – 1000	5 – 30 min	35	Bolan <i>et al.</i> (2013); Brown (2009); Mohan; Pittman; Steele (2006); Sohi <i>et al.</i> (2009)
Intermediária	~500	10 – 20 s	25	Bolan <i>et al.</i> (2013); Brown (2009); Mohan; Pittman; Steele (2006); Sohi <i>et al.</i> (2009)
Rápida	400 – 600	~1 s	10 – 20	Wei <i>et al.</i> (2006); DeSisto <i>et al.</i> (2010)
	300 – 1000	<2 s	12	Bolan <i>et al.</i> (2013); Brown (2009); Mohan; Pittman; Steele (2006); Sohi <i>et al.</i> (2009)
Gaseificação	800 – 1000	5 – 20 s	~10	Meyer, Glaser e Quicker (2011)

Observa-se que cada uma das etapas possui uma característica específica quanto à temperatura de ativação, tempos de isoterma e rendimento. Para a pirólise lenta, observam-se divergências nos limites das temperaturas e isotermas empregadas no processo de carbonização, uma vez que estudos consideram variações entre 400 °C – 600 °C com tempo de residência variando de minutos a dias (ANTAL *et al.*, 2000; GONZÁLEZ *et al.*, 2009; UCHIMIYA *et al.*, 2011) e outros com patamares entre 100 °C – 1000 °C com isotermas que duram minutos (MOHAN; PITTMAN e STEELE, 2006; BROWN, 2009; SOHI *et al.*, 2009; BOLAN *et al.*, 2013).

A pirólise rápida apresenta variação quando se trata da temperatura de preparação com estudos nas temperaturas entre 400 °C – 600 °C (WEI *et al.*, 2006; DESISTO *et al.*, 2010;) e 300 °C – 1000 °C (MOHAN; PITTMAN e STEELE, 2006; BROWN, 2009; SOHI *et al.*, 2009; BOLAN *et al.*, 2013).

A pirólise lenta é conhecida como carbonização convencional devido à utilização de baixas taxas de aquecimento e longas durações de isotermas (QIAN *et al.*, 2013). Com o aumento gradativo da temperatura, os constituintes da biomassa são transformados em aromáticos característicos dos *biochars* e contribuem para a sua estabilidade (KEILUWEIT *et al.*, 2010; LUO *et al.*, 2011; WIEDNER *et al.*, 2013).

A maior decomposição de matéria orgânica ocorre entre as temperaturas de 200 °C – 500 °C caracterizada pelas seguintes perdas: i. decomposição parcial da hemicelulose, ii. decomposição completa da hemicelulose e parcial da celulose, iii. decomposição total da celulose e parcial da lignina e iv. decomposição sucessiva e aumento do grau de carbonização (CHEN *et al.*, 2011; RUTHERFORD *et al.*, 2012; KUMAR *et al.*, 2016; SHEN *et al.*, 2017).

Entre as temperaturas de 300 °C ~ 500 °C, ocorre a perda de matéria volátil, tendendo a formar moléculas aromáticas cíclicas com o aumento da temperatura. Próximo dos 400 °C os grupos funcionais oxigenados alifáticos são degradados e em 500 °C iniciam as reações de condensação (KEILUWEIT *et al.*, 2010; UCHIMIYA *et al.*, 2011; YARGICOGLU *et al.*, 2015).

Acima da temperatura de 700 °C a perda de massa se torna relativa ao aquecimento. Estudos ressaltam que o rendimento dos *biochars* assumiram

valores entre 15 % – 90 % em diferentes matérias primas e, acima dessa temperatura, entre 15 % – 25 % da massa do material se manteve (AHMAD *et al.*, 2012; OH *et al.*, 2012; QIAN e CHEN, 2013; TAN *et al.*, 2015).

Geralmente, as biomassas oriundas da madeira possuem grandes proporções de lignina e resultam em maiores quantidades de *biochar* quando submetidas à temperaturas baixas (próximas de 500 °C) e baixas taxas de aquecimento (DOWNIE; CROSKY e MUNROE, 2009; CAO *et al.*, 2014;).

O aumento da temperatura proporciona o aumento no grau de carbonização do *biochar*, reduzindo as taxas de orgânicos amorfos presentes na estrutura do material, resultando no aumento da área superficial específica, o que favorece a adsorção de poluentes orgânicos (YARGICOGLU *et al.*, 2015)

A preparação de materiais adsorventes envolve a etapa de ativação, subsequente à etapa de carbonização (pirólise). A ativação pode ser realizada pelo método químico ou físico, sendo o químico caracterizado pela utilização de agentes químicos para promover a ativação do material. O processo físico consiste da combinação de tratamentos térmicos em altas temperaturas com a utilização de fluídos ativantes por períodos determinados (FOO e HAMEED, 2011).

A ativação física normalmente é realizada com a utilização de vapor d'água ou dióxido de carbono (CO₂), os quais combinados com o aumento da temperatura promovem o desenvolvimento de novos sítios ativos na superfície do material, resultando no aumento da porosidade e da ASE (ZHANG; LI e LU, 2015).

Dessa forma, a produção do material foi desenvolvida em um estágio de carbonização com atmosfera inerte (N₂) até a temperatura de isoterma, para a estabilização do material e desenvolvimento de estrutura porosa rudimentar (KOLTOWSKI *et al.*, 2016), seguida de um estágio de ativação.

Na ativação o fluxo de N₂ foi interrompido e iniciou-se a vazão de CO₂ para promover o desenvolvimento de novos sítios ativos, proporcionando o aumento da quantidade de poros na superfície do material (ZHANG; LI e LU, 2015).

2.4.5 Indústria de Celulose e Papel

A produção de celulose e papel foi estudada a fim de utilizar a celulose como *biochar*, pois o setor consiste em um dos principais no Brasil. Segundo Iba (2018) o setor de reflorestamento brasileiro possui cerca de 7,84 milhões de hectares plantados, menos de 1% da área total do país, e é responsável por mais de 90% de toda a madeira utilizada no Brasil. A Figura 26 apresenta a evolução na produção de celulose e papel no Brasil desde o ano de 2009, dimensionando a importância deste setor.

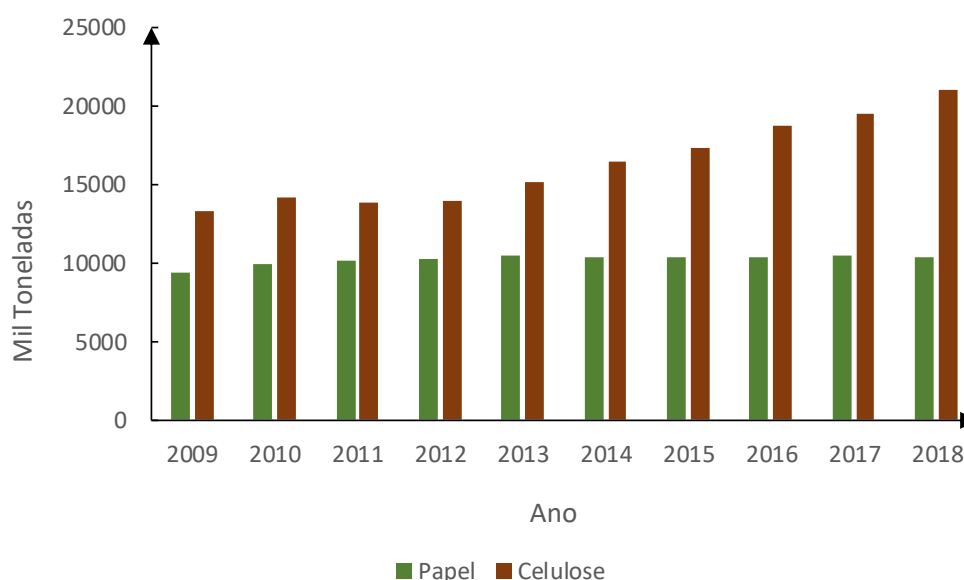


Figura 26 – Evolução da produção de celulose e papel no Brasil (adaptado de IBÁ, 2019).

É possível perceber que, apesar da crise econômica pelo qual passa o país nos últimos anos, o setor de celulose e papel cresceu com relação à produção de celulose. Isso mostra a força desse setor para a economia nacional, tal que o Brasil ocupa a segunda colocação na produção de celulose no mundo e tem 100% da sua produção de papel oriunda de florestas plantadas (IBÁ, 2018).

A principal matéria prima para o setor consiste no *Eucalyptus* que é utilizado como matéria prima para a produção de diferentes materiais, tais como, celulose, papel, chapa de fibras, móveis, painéis e óleos essenciais, além de proteger o solo contra erosões, apresentar capacidade de captação de dióxido de carbono (CO₂), geração de energia (carvão e lenha), tanino e mel (SILVA, 2005). No Brasil, segundo Corniani (2009), as espécies que são de maior interesse na eucaliptocultura são o *E. urophylla* e *E. grandis*, representando 40% de toda a

madeira produzida no país e sendo a principal matéria prima para o setor de celulose e papel (IBÁ, 2016).

As polpas de eucalipto são recomendadas para a fabricação de papéis devido às suas qualidades: volume específico aparente, opacidade, formação, maciez, porosidade, lisura, absorção, estabilidade estrutural, entre outros (FOELKEL, 2007).

A composição em percentual mássico dos componentes do eucalipto é apresentada na Tabela 16, os quais, aliados a capacidade de maturação rápida da espécie, impulsionaram a sua aplicação na indústria como matéria prima para diversos processos.

Tabela 16 – Estrutura e divisão do eucalipto, percentuais em peso (CANDELIER et al., 2013).

Eucalipto	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)
	45 – 55	20 – 30	25 – 35	-

Existem processos que visam transformar a madeira em uma forma desfibrada ou desintegrada, sem a remoção da lignina ou com remoção parcial, transformando-a em pasta, polpa ou celulose (BARRICHELO, 1976). Os processos são classificados em: processo mecânico, sulfito ácido, semiquímico e o sulfato ou Kraft, sendo o último mais utilizado no Brasil (IBÁ, 2016).

O processo Kraft, ou sulfato, é caracterizado por ser um processo alcalino e aplicado a qualquer espécie de madeira, embora sejam mais empregadas em madeiras de coníferas. O principal objetivo é remover as grandes quantidades de óleos e resinas, por meio da utilização do sulfato modificado para a produção da polpa de dissolução para a celulose e papel. Neste processo, realiza-se uma pré-hidrólise para a remoção das pentosanas e as hemiceluloses, seguida por um tratamento a sulfato (sulfato de sódio impuro) e, posteriormente, encaminhado a sucessivas etapas de branqueamento. As reações químicas são pouco definidas, envolvendo a hidrólise da lignina em álcoois e ácidos, produzindo também sulfetos, os quais são responsáveis pelo odor oriundo das fábricas de polpa ao sulfato (SHREVE e BRINK, 2014).

A partir do aumento gradativo na demanda desses produtos e da evolução do mercado na aplicação da celulose para diferentes fins, a celulose passou a ser

uma importante fonte de matéria prima na aplicação industrial, o que aumentou a quantidade de resíduos e lixos gerados no processo.

Na Tabela 17 descreve-se uma classificação dos resíduos da indústria de papel e celulose, com base em suas propriedades e volume.

Tabela 17 – Tipos de resíduos oriundos da indústria de celulose e papel (adaptado de VAN EWIJK; PARK e CHERTOW, 2018).

Tipo de Resíduo	Descrição	Referência
Fim de vida	Todo papel descartado pelos setores residenciais e comerciais, excluindo a indústria de papel e o papel higiênico	Van Ewijk; Park e Chertow, 2018
Papel em esgoto	Papel higiênico que acaba no sistema de tratamento de esgoto devido as características de uso	Van Ewijk; Park e Chertow, 2018
Lodo e rejeitos	Perdas agregadas da polpação química e mecânica (excluindo licor preto e subprodutos). Estão suspensos em águas residuais, contém material fibroso e valor de aquecimento	Suhr; Letelier-Gordo e Lund, 2015
Lodo da reciclagem	É gerado durante a polpação e remoção para reciclagem, contendo fibras, tintas, adesivos e produtos inorgânicos	Makinen <i>et al.</i> , 2013
Licor negro	Produzido durante o processo de polpação química, contém lignina e hemicelulose, além de produtos químicos inorgânicos. É utilizado, geralmente, para produção de energia	Naqvi, Yan e Dahlquist, 2010
Resíduos da fabricação do papel	Perdas decorrentes do processo de produção das fibras de papel. Fonte de papel limpa e conveniente para reciclagem	Stawicki e Read, 2010
Resíduos da caustificação	Lodo inorgânico gerado no ciclo de recuperação química. Possui alta alcalinidade e pode ter outros contaminantes	Bird e Talberth, 2008
Cinzas da caldeira	Resultado da combustão dos resíduos orgânicos	Bird e Talberth, 2008

Percebem-se vários resíduos gerados na indústria de papel, sendo que alguns têm potencial de reaproveitamento para subprodutos, destacando como principal resíduo da indústria de celulose e papel o licor negro, um resíduo de difícil destinação, devido à quantidade de químicos presentes na sua composição (MONGKHONSIRI *et al.*, 2018).

Devido a isso, algumas ações passaram a serem tomadas na busca pela sustentabilidade do processo, com o intuito de se reaproveitar os resíduos gerados, minimizando seu impacto no meio ambiente e após sua utilização pelo consumidor.

A Figura 27 apresenta a evolução da matriz energética do setor de papel e celulose entre os anos de 1970 e 2012.

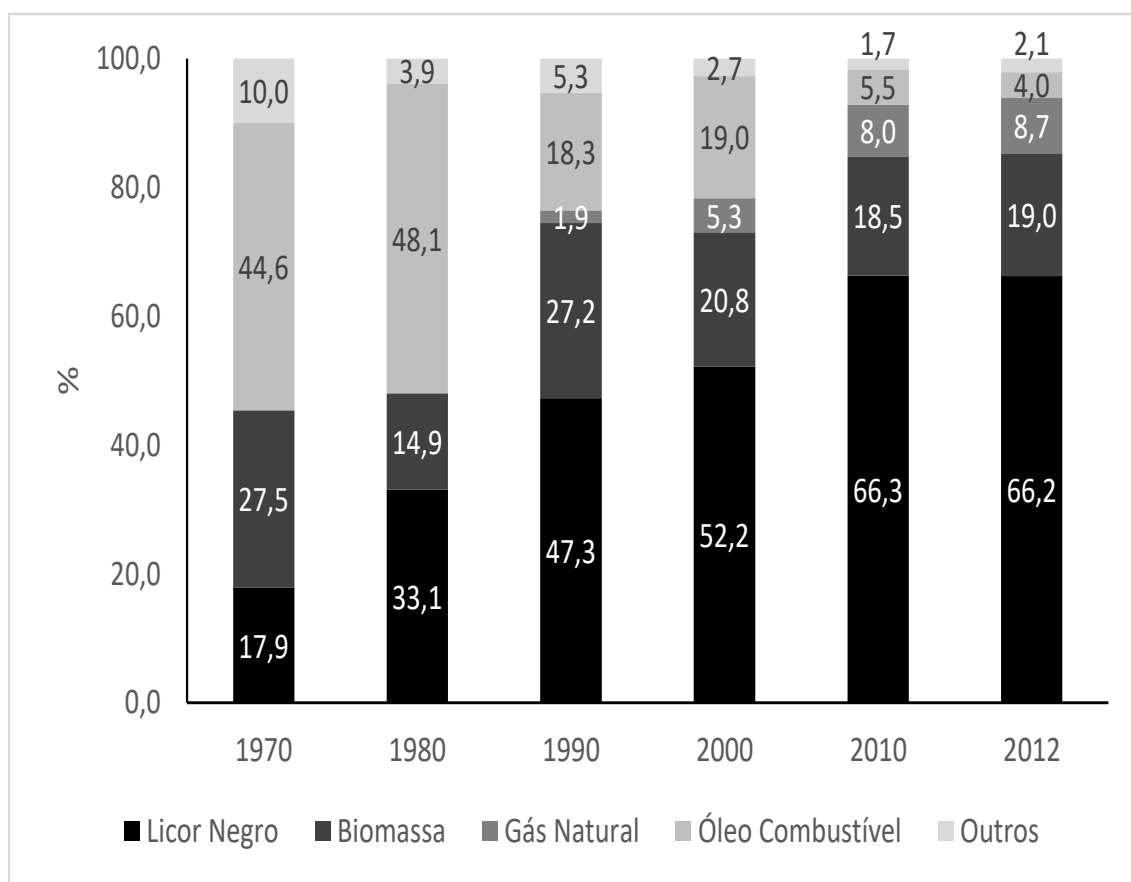


Figura 27 – Evolução no consumo de recursos naturais da matriz energética na produção de celulose e papel (BRACELPA, 2014)

É possível observar que a matriz energética sofre algumas alterações com o passar do tempo, tornando o setor de produção mais sustentável, comparando o consumo de recursos para a geração de energia entre 1970 – 2012.

Os óleos combustíveis foram substituídos por resíduos do licor negro, oriundos do próprio sistema de produção, sendo a principal matriz energética atualmente, indícios da aplicação da EC neste setor.

Também, destaca-se a evolução no reaproveitamento do produto papel após o consumo com o intuito de se reduzir a quantidade de resíduos gerados pela sociedade, na busca pelo DS. Nesse sentido, a Figura 28 aborda o percentual de retorno desses materiais em função do tempo, além do consumo de papel e de suas aparas.

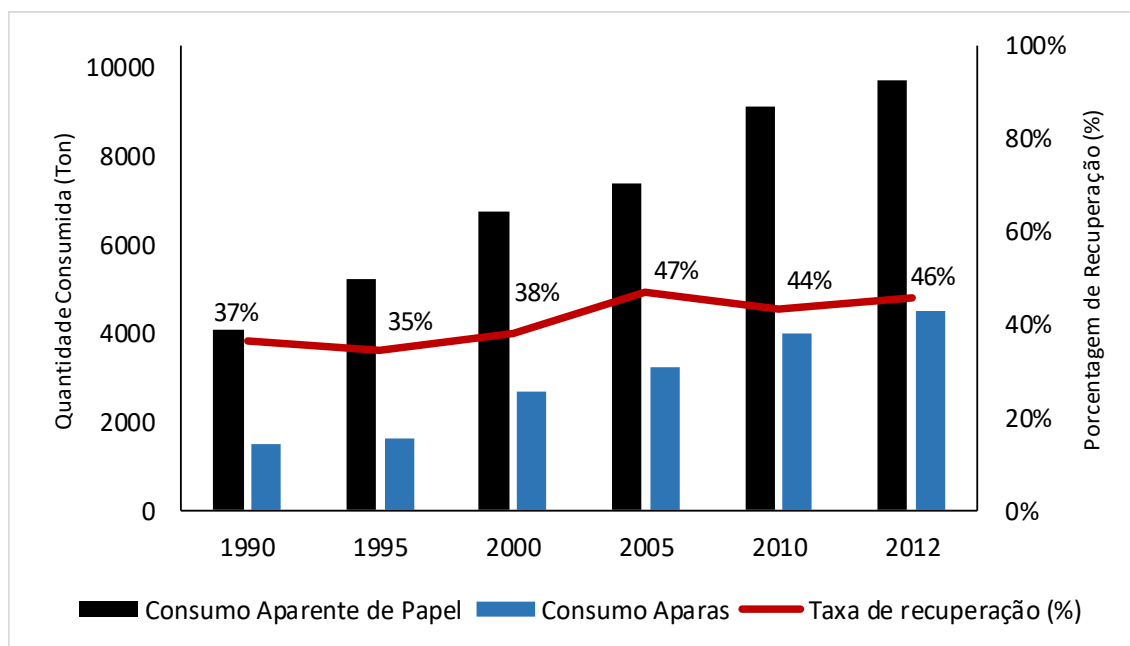


Figura 28 – Taxa de recuperação de papéis recicláveis (BRACELPA, 2014)

Apesar de ter crescido nas duas últimas décadas, o percentual de recuperação de papéis pós consumo se manteve na mesma faixa entre os anos de 2005 e 2012, fato que apresenta diversas discussões, uma vez que a logística reversa para retorno deste tipo de material acaba inviabilizando seu reaproveitamento.

Segundo van Ewijk, Park e Chertow (2018), o *status* do desenvolvimento tecnológico das opções de recuperação dos resíduos de papel são separados na seguinte estrutura: primeiro, investigação e desenvolvimento; segundo, projeto piloto, demonstração experimental e validação dos resultados; terceiro, implementação em escala industrial.

Alguns estudos aplicaram ferramentas (Tabela 18), a fim de mapear e identificar os impactos ambientais oriundos dos resíduos e processos da indústria de celulose e papel. Encontraram-se estudos que tivessem utilizado os princípios da ACV com o intuito de encontrar subprodutos a partir da cadeia de produção de celulose e papel.

A Tabela 18 apresenta recentes estudos publicados utilizando a indústria de celulose e papel como foco de estudo.

Tabela 18 – Aplicação da ACV na identificação de aspectos e impactos ambientais da indústria de celulose e papel (compilado pelo próprio autor).

País	Tipo de indústria ou produto	Análise realizada	Referências
Europa	Indústria de celulose e papel	Analisou o setor de celulose e papel na Europa indicando que a realocação da produção de papel também oferece uma redução dos impactos ambientais, a partir de estudos detalhados. No entanto, os efeitos severos sobre a economia tornam essa política menos atraente do que uma combinação de reciclagem, produção mais limpa e recuperação de energia.	Bloemhof-Ruwaard <i>et al.</i> (1996)
Portugal	Papel para impressão	* Maior contribuidor para a emissão de CO ₂ devido a produção de energia no local; * As emissões de CH ₄ são o principal fator para o aquecimento global devido à deposição de resíduos de papel	Lopes <i>et al.</i> (2003)
República Checa	Fábrica de papel e celulose	Concluiu que a produção de lama consiste em um dos mais sérios problemas ambientais do ramo	Oral <i>et al.</i> (2005)
Brasil	Fábrica de papel	Apresentou um levantamento de inventário, mas não avaliou os impactos ambientais do processo de produção, não sugerindo melhorias ambientais para o processo	Galdiano (2006)
Tailândia	Papel Kraft	Destacou a severidade dos impactos causados pela indústria como o aquecimento global, acidificação, eutrofização, poluição atmosférica, toxicidade e resíduos sólidos	Jawjit <i>et al.</i> (2007)
Alemanha - Portugal	Papel offset	Fez comparação entre o mercado alemão e o português e concluiu: O papel consumido no mercado português apresenta menor impacto ambiental na fase de distribuição; Maior impacto ambiental na fase de disposição final, agravado devido a oxidação fotoquímica aliada a formação e emissão de CH ₄ dos aterros.	Dias <i>et al.</i> (2007)
Tailândia	Indústria de celulose	Desenvolvimento de um novo software, chamado Compliment, que pode ser utilizado para detalhar informações sobre impactos ambientais de uma empresa. Utilizou como exemplo de aplicação uma indústria de celulose na Tailândia.	Hermann <i>et al.</i> (2007)
Portugal	Comparação na produção de papel de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) e cânhamo (<i>Cannabis sativa</i>)	* O papel oriundo do cânhamo gera maiores encargos ambientais que o oriundo do eucalipto; * As maiores diferenças nos ciclos de vida estão relacionadas ao aquecimento global, acidificação, eutrofização, oxidantes fotoquímicos e os impactos durante o uso da terra nos estágios de produção da fibra e da celulose, devido ao maior uso de fertilizantes e a maior quantidade de operações mecânicas.	Vieira <i>et al.</i> (2010)
Chile	Produção de papel de <i>Pinus Elliottii</i> e <i>Eucalyptus globulus</i>	Concluiu que a celulose de pinho gera maiores cargas químicas e ambientais do que a de eucalipto, principalmente pelos efluentes líquidos gerados.	González <i>et al.</i> (2011)

Brasil	Papel offset	Fez análise do sistema de produção fazendo algumas considerações: o sistema industrial consome uma grande quantidade de energia primária, renovável e não renovável; O uso da terra reduz a função ecológica da mesma devido a monocultura, sendo indicada uma recuperação química para a mesma.	Silva <i>et al.</i> (2015)
Marrocos	Produção de madeira tratada em uma indústria de celulose	Estudou a fase inicial do processo de produção da celulose, etapa de produção de madeira para a indústria de papel, demonstrando que há uma competitividade no uso de madeira reciclada vs madeira bruta nas categorias saúde humana e qualidade do ecossistema.	M'handi <i>et al.</i> (2017)
Portugal	Produção de celulose e papel	Fez um estudo complexo sobre os impactos ambientais da indústria, a partir dos softwares de análise de inventário Impact 2002 e ReCiPe 2008, identificando possíveis alternativas para ter um menor impacto utilizando o princípio de Pareto.	Santos <i>et al.</i> (2018)

Percebe-se que alguns estudos correlacionaram os impactos da cadeia de produção de celulose e papel (BLOEMHOF-RUWAARD *et al.*, 1996; DIAS *et al.*, 2007; JAWJIT *et al.*, 2007; VIEIRA *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2018), mas poucos estudos discutiram de fato aplicações para melhorar os aspectos ambientais gerados por essa cadeia de produção (BLOEMHOF-RUWAARD *et al.*, 1996), ou ainda, apresentaram soluções para os resíduos gerados, a partir da aplicação da ACV (SANTOS *et al.*, 2018).

Nesse contexto, esse trabalho buscou aplicar a ferramenta da ACV, com base nos conceitos do DS, para estudar e mapear o sistema de produção de celulose e papel na busca por desenvolver um novo elemento filtrante a partir da identificação de diferentes etapas do seu ciclo de vida para a adsorção de CTG's em águas superficiais.

Mais especificamente, com base nos ODS, buscou-se elencar os diferentes objetivos que seriam trabalhados com a presente temática, atendendo diretamente: 6 (água potável e saneamento) e 14 (proteger a vida marinha) dos ODS propostos pela ONU. Indiretamente, contribui para os objetivos 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 15 (proteção da vida terrestre).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Para o mapeamento do sistema de produção de celulose e papel foi utilizada a metodologia de pesquisa de campo aliada a entrevistas em 3 empresas de grande porte do ramo no estado de São Paulo durante o período de 18 meses entre os anos de 2016 e 2018, sendo realizadas cerca de 20 visitas no período. Na pesquisa de campo, observou-se o sistema de produção de celulose desde a etapa de pesquisa e desenvolvimento até os procedimentos de reciclagem do papel pós consumo, utilizando a ferramenta da ACV para correlacionar as etapas de produção com os impactos ambientais causados por ela. Aliada a pesquisa de campo, foram realizadas as entrevistas com profissionais da área de celulose e papel a fim de contribuir com o mapeamento do processo e apontar os aspectos ambientais de entrada e saída. A Figura 29 apresenta o método aplicado para o mapeamento das atividades.

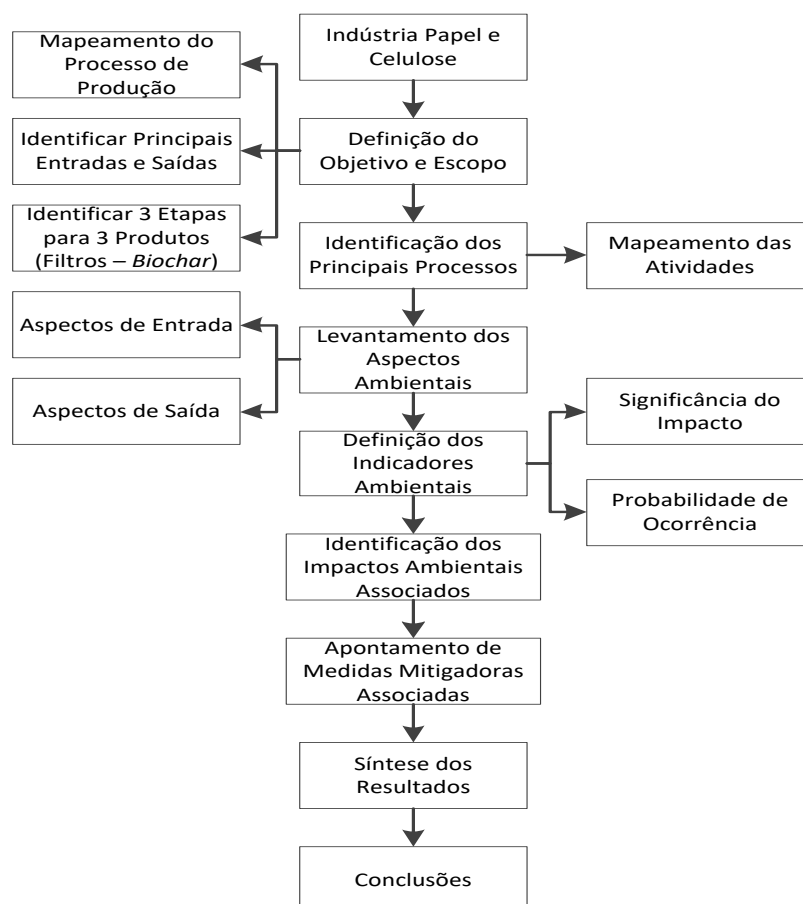


Figura 29 – Método para aplicação da ACV no presente estudo.

A partir da identificação da indústria de celulose e papel, buscou-se definir o escopo do estudo, seguindo a estrutura para aplicação da ACV definida pela ISO 14001 (2006), onde foram definidos:

- Inicialmente foram definidos o objetivo e escopo da ACV, em que se buscou mapear o processo de produção da celulose desde o plantio da madeira até a etapa de produção do papel, assim como o processo de recuperação do papel; identificar as principais entradas e saídas do processo em todo o seu ciclo de vida; e identificar três etapas do seu ciclo de vida para a retirada da celulose como matéria prima para a produção do *biochar*;
- Em seguida, foram mapeadas as atividades a fim de realizar uma análise de inventário qualitativa com relação aos aspectos ambientais de entrada e saída. Nesta etapa, foram definidos os indicadores de significância e probabilidade de ocorrência do impacto ambiental, seguindo a escala de Likert:
 - I – Desprezível – quando o impacto ambiental não possui potencial para causar grandes problemas para o meio ambiente ou para os *stakeholders*;
 - II – Aceitável – quando o impacto ambiental apresenta pouca interação com o meio receptor, se for descartado incorretamente, causando efeitos por curtos períodos de tempo;
 - III – Moderado – o impacto ambiental tem potencial de causar problemas para as pessoas e o ambiente natural que estão próximas a fonte poluidora;
 - IV – Grave – o impacto ambiental pode causar danos consideráveis a saúde e meio ambiente, além de poder ter um tempo de vida longo;
 - V – Severo – o impacto ambiental é significativo e medidas de segurança devem ser tomadas assim que ocorrer o impacto.

- Após a identificação dos aspectos ambientais, foram apontados os impactos ambientais do processo e as medidas de mitigação para esses impactos;
- Realizado o levantamento ambiental, o processo foi interpretado com o intuito de se discutir os impactos ambientais de cada uma das etapas do ciclo de vida da celulose, para a continuidade do presente estudo.

3.2 Montagem do Sistema Experimental

A partir da aplicação da ACV foi possível identificar as etapas do sistema de produção da celulose e papel para coleta das amostras para os ensaios de remoção da amoxicilina. Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Materiais Carbonosos (LMC) da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), campus de Santa Bárbara d'Oeste e são apresentados na Figura 30.

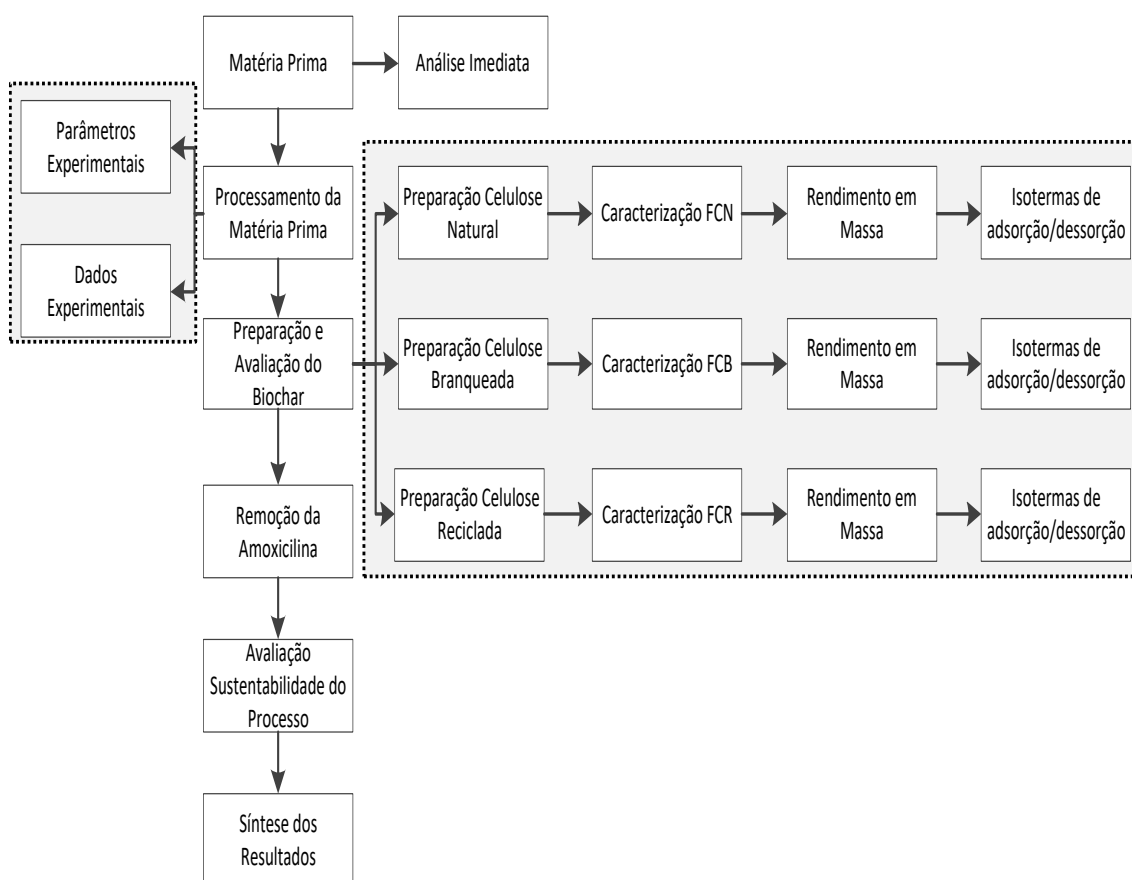


Figura 30 – Etapas do desenvolvimento das etapas de preparação e caracterização do biochar e da adsorção da amoxicilina.

Para a preparação e montagem do sistema experimental, o primeiro passo foi a avaliação da capacidade térmica do forno para definição da faixa ideal para alocar as amostras. Para isso, o forno foi aquecido em diferentes temperaturas (de 600 °C a 950 °C) sendo monitorado a cada 20 cm, buscando medir em qual faixa haveria uma menor variação na temperatura.

Na etapa de conformação da matéria prima, as amostras de celulose foram obtidas em diferentes estados: as de celulose natural foram obtidas na forma de grãos; enquanto que as de celulose branqueada em forma de placas com 5,0 mm de espessura, 0,60 m de largura e 1,20 m de comprimento; e as de celulose reciclada na forma de papel picado.

Para a preparação dos elementos filtrantes foi definido que as amostras seriam em forma de discos, com massa específica próxima de 0,50 g.cm⁻³. A conformação das matérias seguiu a seguinte estrutura:

- Celulose Natural – As amostras de celulose natural foram preparadas adicionando água e cola branca (PVA – Acetato de Polivinila). Em proporção, para cada disco foram utilizadas 5,0 g de celulose natural, 2 ml de água e 2 g de cola;
- Celulose Branqueada – Como as amostras de celulose vieram em placas, as mesmas foram cortadas na forma de disco no diâmetro desejado;
- Celulose Reciclada – A celulose reciclada foi colocada em água por 12 horas, sendo em seguida seca e montada na forma de disco. Para a montagem, foram adicionados 11 g da massa e 2 g de cola.

Na etapa de processamento da matéria prima, foram definidos os parâmetros experimentais, baseados em dados da literatura e outros estudos realizados no LMC, para a preparação das amostras de celulose.

Para a preparação do *biochar*, foi utilizada a curva de degradação térmica apresentada na Figura 31.

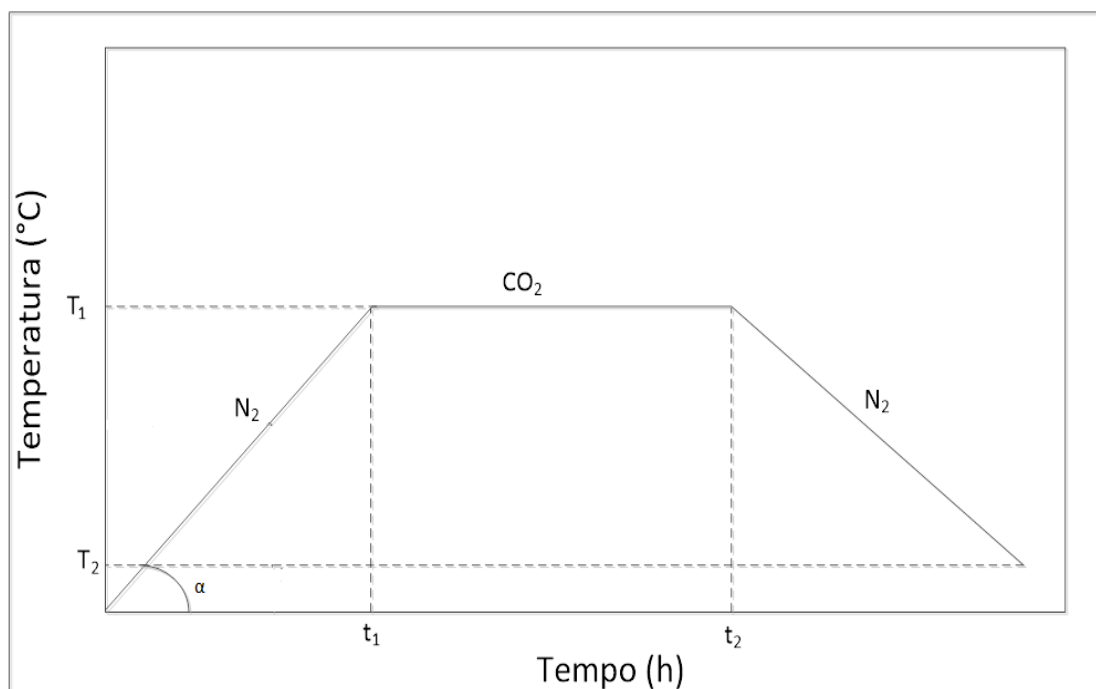


Figura 31. Curva de degradação térmica das amostras de celulose ativada.

Em cada procedimento experimental foram preparadas 10 amostras de celulose, que foram cortadas em formato circular com 55 mm de diâmetro e cerca de 3,0 mm de espessura. Os ensaios foram submetidos à taxa de aquecimento (α) com valor de $5^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, realizados em atmosfera inerte (N_2) com vazão fixa em $200\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ até atingir a temperatura de ativação (T_1), a qual variou entre os valores de 600°C , 700°C e 800°C para se estudar as alterações na capacidade de adsorção do material (AHMAD *et al.*, 2012; OH *et al.*, 2012; QIAN e CHEN, 2013; YARGICOGLU *et al.*, 2015; TAN *et al.*, 2015; PLENS, 2018).

Ao atingir a temperatura desejada o fornecimento de gás N_2 foi interrompido e, instantaneamente, foi injetado o gás oxidante (CO_2), com vazão fixa de $200\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$.

Nesse momento, a vazão de CO_2 foi mantida fixa na presença de um estágio isotérmico ($t_1 \rightarrow t_2$), com duração de 1 h, 2 h e 3 h. Após o término da isoterma, o fluxo de CO_2 foi interrompido e a amostra foi submetida a atmosfera inerte durante o resfriamento, até atingir a temperatura ambiente.

Foram definidos também os dados experimentais, padronizando a nomenclatura das amostras, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Padrão da nomenclatura adotada para as amostras utilizadas.

Sigla	Definição
FCA – N1	FCA = Fibra de Celulose Ativada N = Natural 1 = Número da Amostra
FCA – B1	FCA = Fibra de Celulose Ativada B = Branqueada 1 = Número da Amostra
FCA – R1	FCA = Fibra de Celulose Ativada R = Reciclada 1 = Número da Amostra

A montagem do sistema experimental está apresentada na Figura 32, a qual foi composta por forno elétrico tubular vertical estático (1) com 360 mm de altura. Utilizou-se um reator tubular de quartzo (2) com 800 mm de comprimento e 56 mm de diâmetro, ao qual foi acoplado um sistema de controle de fluxo de gases (CO_2 e N_2) controlados por válvulas tipo agulha (3).

A taxa de aquecimento e as temperaturas (interna – T_{int} e externa – T_{ext}) foram controladas por meio de um equipamento de marca ECIL®, modelo Watlow 982 (4), com fonte de potência da ECIL®, modelo Din-A-Mite, de 50 A (5). O sistema foi inserido sob uma coifa (6) para exaustão dos gases gerados no processo.

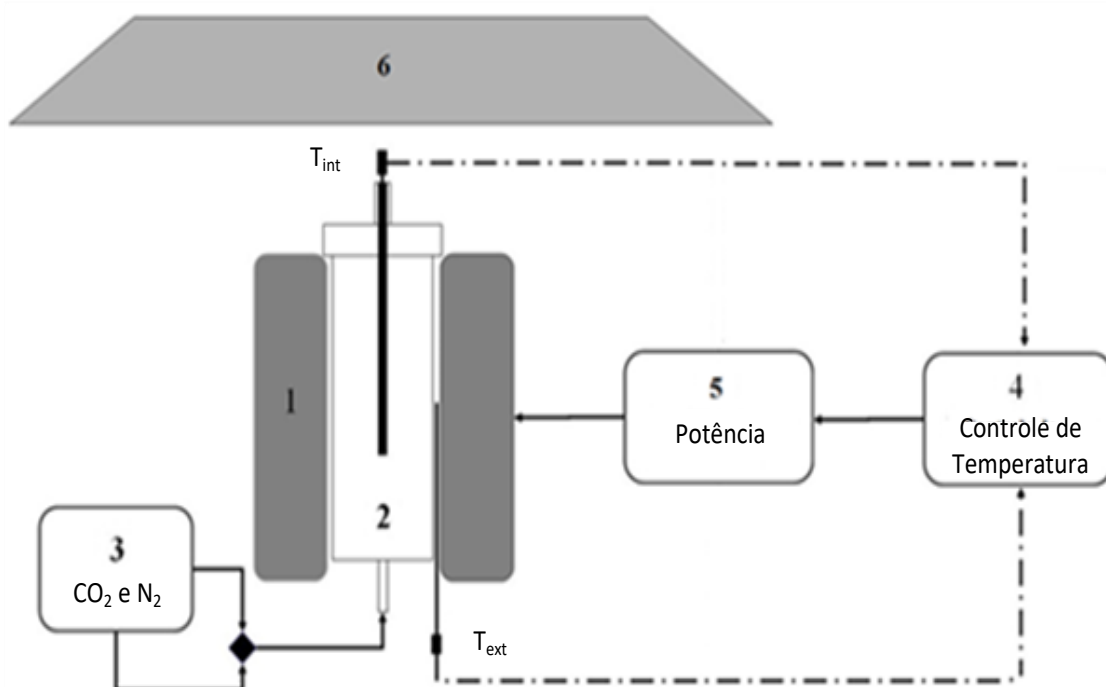


Figura 32. Esquema do sistema experimental.

Dessa forma, as condições de cada ensaio executado foram organizadas e estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Distribuição e detalhamento das condições dos ensaios executados e da nomenclatura dessas etapas.

Temperatura (°C)	Natural			Branqueada			Reciclada		
	1 hora	2 horas	3 horas	1 hora	2 horas	3 horas	1 hora	2 horas	3 horas
600	FCA - N1	FCA - N2	FCA - N3	FCA - B10	FCA - B11	FCA - B12	FCA - R1	FCA - R2	FCA - R3
700	FCA - N4	FCA - N5	FCA - N6	FCA - B13	FCA - B14	FCA - B15	FCA - R4	FCA - R5	FCA - R6
800	FCA - N7	FCA - N8	FCA - N9	FCA - B16	FCA - B17	FCA - B18	FCA - R7	FCA - R8	FCA - R9

Com base no mapeamento apresentado, foram produzidas 27 amostras, a partir de diferentes condições de preparo a fim de identificar a eficiência dos materiais preparados na adsorção da amoxicilina.

Caracterização das amostras: as FCA's foram caracterizadas segundo as técnicas apresentadas no desenvolvimento teórico. As análises de área superficial específica (ASE) foram realizadas por meio das isotermas de adsorção/desorção aplicando-se a técnica BET, com adsorção de N₂ a 77 K, utilizando o equipamento Autosorb-1MP, da Quantachrome, para avaliar a estrutura porosa desenvolvida no material adsorvente.

Após caracterizadas, as amostras foram aplicadas para remoção da amoxicilina. Para os ensaios de adsorção de amoxicilina, primeiramente preparou-se uma solução padrão com concentração de 2 g.L⁻¹ para a definição da curva de calibração.

A solução foi preparada com água Milli-Q (deionizada) purificada por um sistema fornecido pela *Millipore Corporation*. Em seguida, a solução foi levada ao banho ultrassônico *Ultrasonic Cleaner* por 15 minutos e submetida à temperatura de 40 °C até total homogeneização.

Alíquotas de 120, 140, 160, 180 e 200 µg.mL⁻¹ da solução padrão foram pipetadas (micropipeta) e transferidas para um balão volumétrico de 10 mL, para

diluição e posterior análise no espectrofotômetro *MultiSpec* – 1501 UV-VIS *Spectrophotometer*, fabricado pela Shimadzu.

Testes de varredura entre os comprimentos de onda de 100 nm a 900 nm foram realizados a fim de identificar o pico característico da amoxicilina, definindo-se o comprimento de onda de 274 nm para identificar a presença do antibiótico na solução.

Para garantir a qualidade da análise dos resultados de remoção do fármaco, seguiu-se o documento de validação de métodos analíticos (DQO-CGRE-008, 2011) elaborado pela divisão de acreditação de laboratórios para determinar o limite de quantificação e de detecção do analito para a obtenção de resultados com a qualidade exigida.

Nesse sentido, foram realizadas seis medições da solução de amoxicilina na concentração de $160 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ para verificar a menor quantidade detectável do componente em uma amostra com precisão e exatidão aceitáveis nas condições experimentais definidas.

O limite de detecção foi estabelecido por meio da análise da solução de amoxicilina com concentração conhecida ($1,6\cdot 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$) e decrescente do analito até o menor nível detectável ($6,4\cdot 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$).

Posteriormente, definiu-se a concentração máxima de detecção pelo espectrofotômetro do fármaco, estabelecendo a concentração inicial em $1600 \mu\text{ g/L}$. Para desenvolvimento dos ensaios de adsorção em leito fixo, utilizou-se 250 mL de solução na concentração indicada e o sistema de adsorção foi estruturado conforme apresentado na Figura 33.

Ao fundo da tela, foi utilizado um filtro de papel saturado com a solução padrão de amoxicilina, secado em estufa, para garantir que não houvesse arraste do *biochar* para a cubeta de quartzo, de modo a garantir que a leitura do espectrofotômetro fosse isenta de interferências.

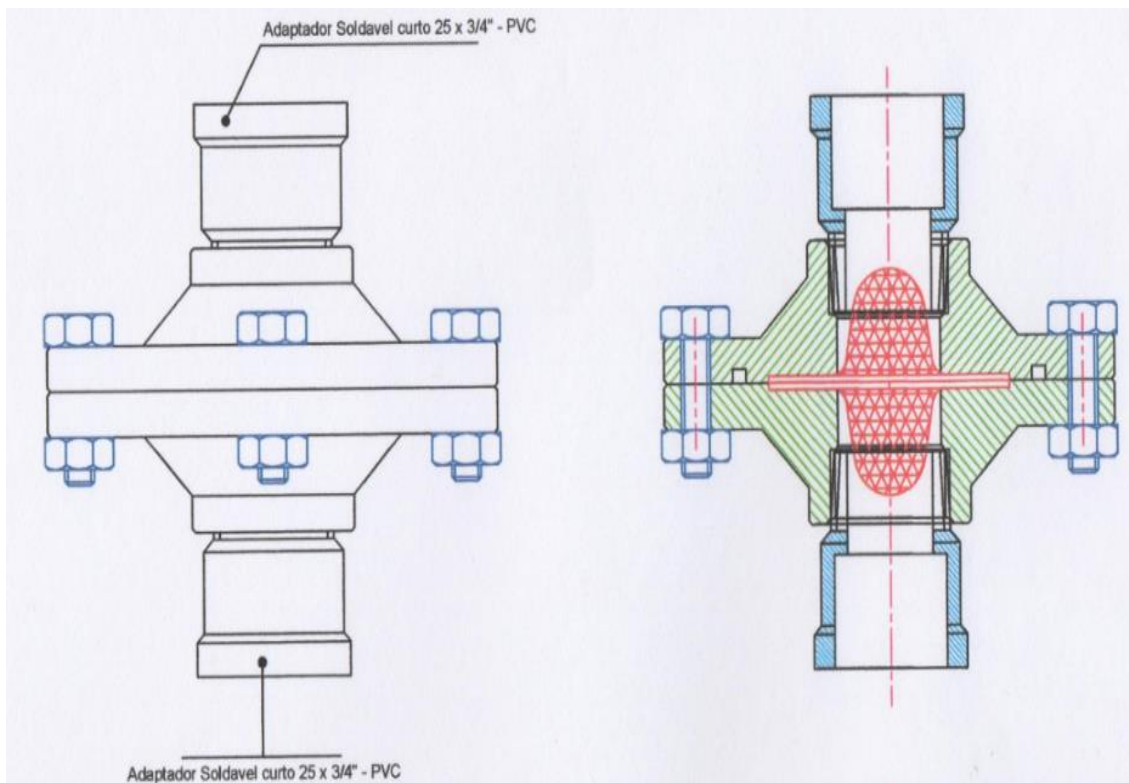


Figura 33. Montagem do sistema experimental de adsorção de amoxicilina.

Os ensaios de adsorção foram realizados em regime de fluxo constante utilizando uma bomba peristáltica TE-BP-01 da Tecnal, com percentual de vazão em 70%.

As medições de absorvância foram realizadas utilizando-se a cinética de adsorção do *software* em períodos determinados de 0,5 minuto. O leito foi composto de massas específicas de carvão de modo a ocupar toda a tela disponível até o equilíbrio ser atingido, a fim de garantir saturação total do material adsorvente.

Após o levantamento experimental, seguiu-se para a etapa de análise dos resultados seguindo os indicadores a serem discutidos, conforme delineamento geral da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta em primeiro lugar o ciclo de vida da celulose em que foram identificadas três etapas do processo para a retirada da celulose como matéria prima para a produção do *biochar*. Em seguida, os dados obtidos dos procedimentos experimentais foram discutidos de acordo com os indicadores propostos pela metodologia.

Os resultados gerados em cada uma das etapas foram integrados e discutidos com o objetivo de se entender os padrões na remoção da amoxicilina nas diferentes etapas do ciclo de vida da celulose, com relação a variação dos impactos ambientais e custo do material.

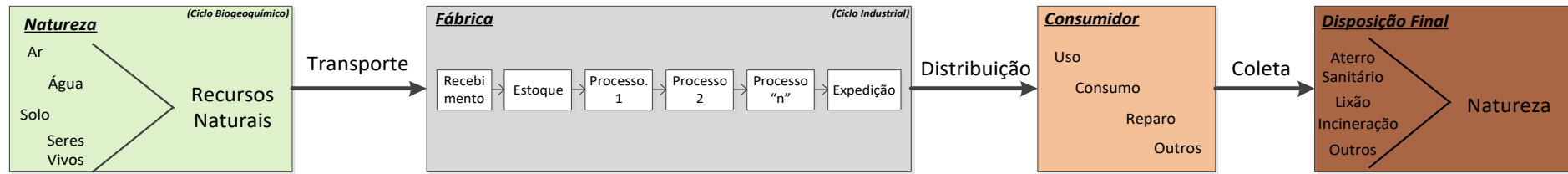
4.1 Processo de produção de celulose e papel

Um dos desafios da EC consiste em transformar o sistema linear de produção em um sistema cíclico de produção em que os resíduos de uma empresa são matérias primas para outras empresas, criando uma rede interligada entre as empresas, tanto para matérias primas virgens, como para matérias primas recicladas. A Figura 34 apresenta uma construção conceitual para essa aplicação, evidenciando a mudança nos ciclos de produção.

Para a construção de um ciclo sustentável de produção, a EC aparece como base para se entender a complexidade dos fluxos e a interação entre as empresas que fazem parte deste ciclo. O fluxo de materiais recirculados é intenso e forma uma nova cadeia logística, o que dificulta sua aplicação. O ponto a ser destacado consiste na busca pela minimização dos produtos em fim de vida que são considerados lixo e enviados para disposição final, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais de todo o sistema e para a minimização da extração dos recursos naturais virgens.

A partir dessa visão sistêmica, o processo de produção de celulose e papel foi mapeado com o objetivo de se identificar três fases do seu ciclo de vida para a retirada da celulose como matéria prima para a produção do *biochar* em escala laboratorial.

Ciclo Linear de Produção



Ciclo Sustentável de Produção

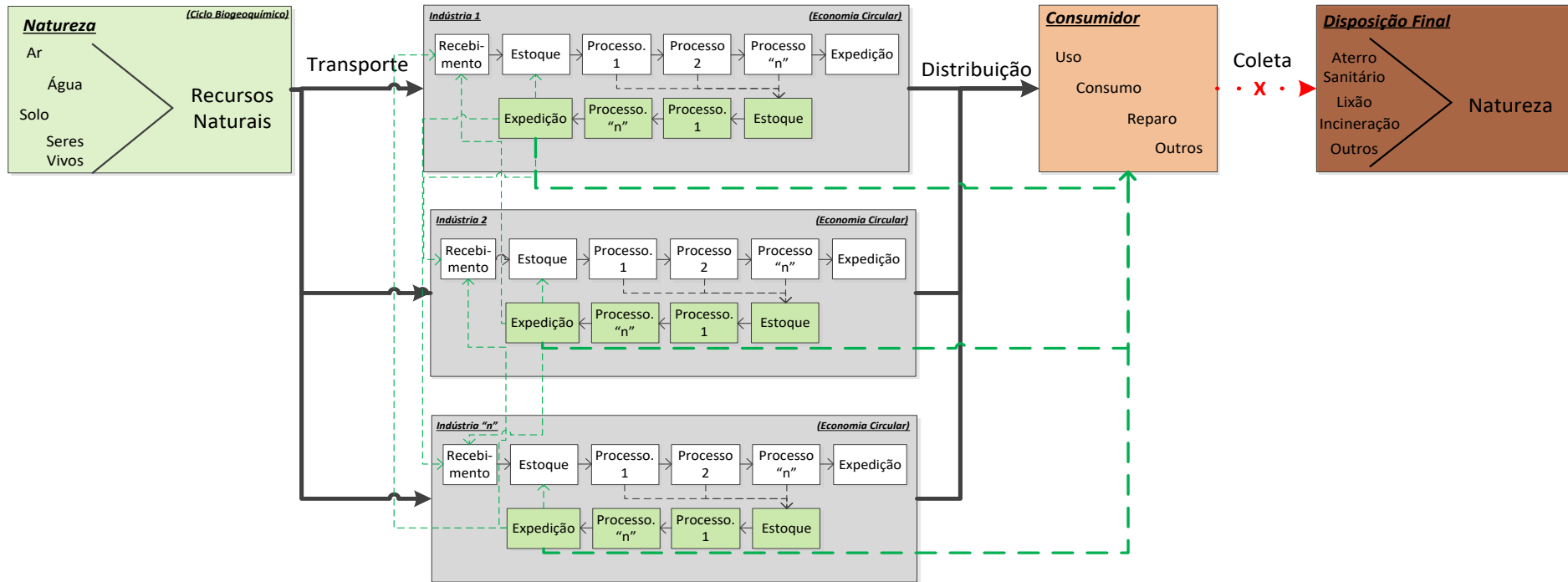


Figura 34 – Ciclo de produção linear versus sustentável.

4.1.1 Produção de Celulose Natural

O setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) marca o início do processo de produção da celulose, onde há a identificação das necessidades da empresa, as do mercado e o conhecimento obtido é aplicado no desenvolvimento de brotos que são melhorados geneticamente visando ganhos durante o ciclo de produção da celulose. Durante esta etapa, existe uma previsão dos gastos e do desenvolvimento dos projetos, antecipando questões operacionais e problemas do andamento do projeto.

A partir da definição do projeto a ser iniciado, as etapas se complementam até o envio das toras de madeira para o processamento da celulose na indústria, que consiste no envio da celulose natural para o pátio da madeira, etapa em que a celulose inicia seu processo de transformação. A Figura 35 mostra, em uma visão macro, as etapas do ciclo de produção da celulose desde a etapa de P&D até o pátio da madeira.

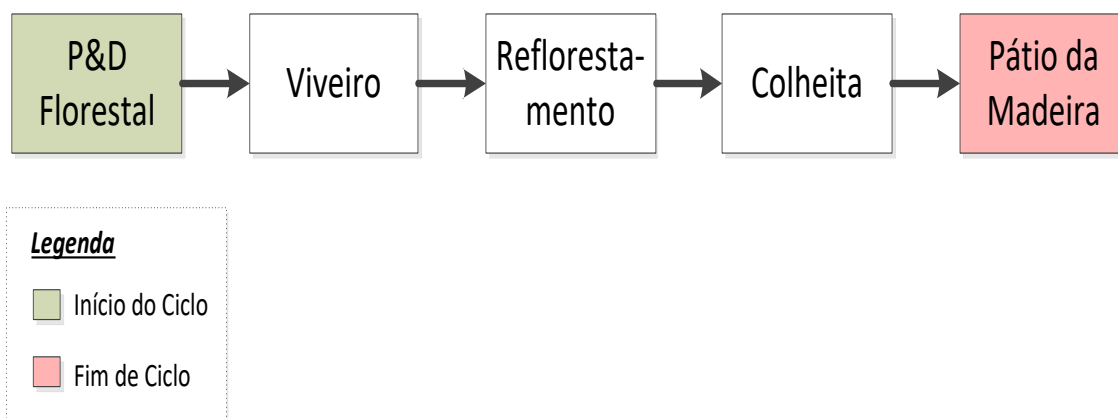


Figura 35 – Fluxograma simplificado do processo de produção de celulose natural.

A etapa de P&D desenvolve novas mudas e melhorias vegetais a partir do conhecimento fisiológico do departamento, das necessidades operacionais da empresa e das oportunidades do mercado. Nesse sentido, esta etapa busca projetar as mudanças genéticas necessárias para melhorar a eficiência da madeira durante o processo de produção de papel.

A Figura 36 apresenta o detalhamento da primeira etapa deste ciclo, que consiste no P&D.

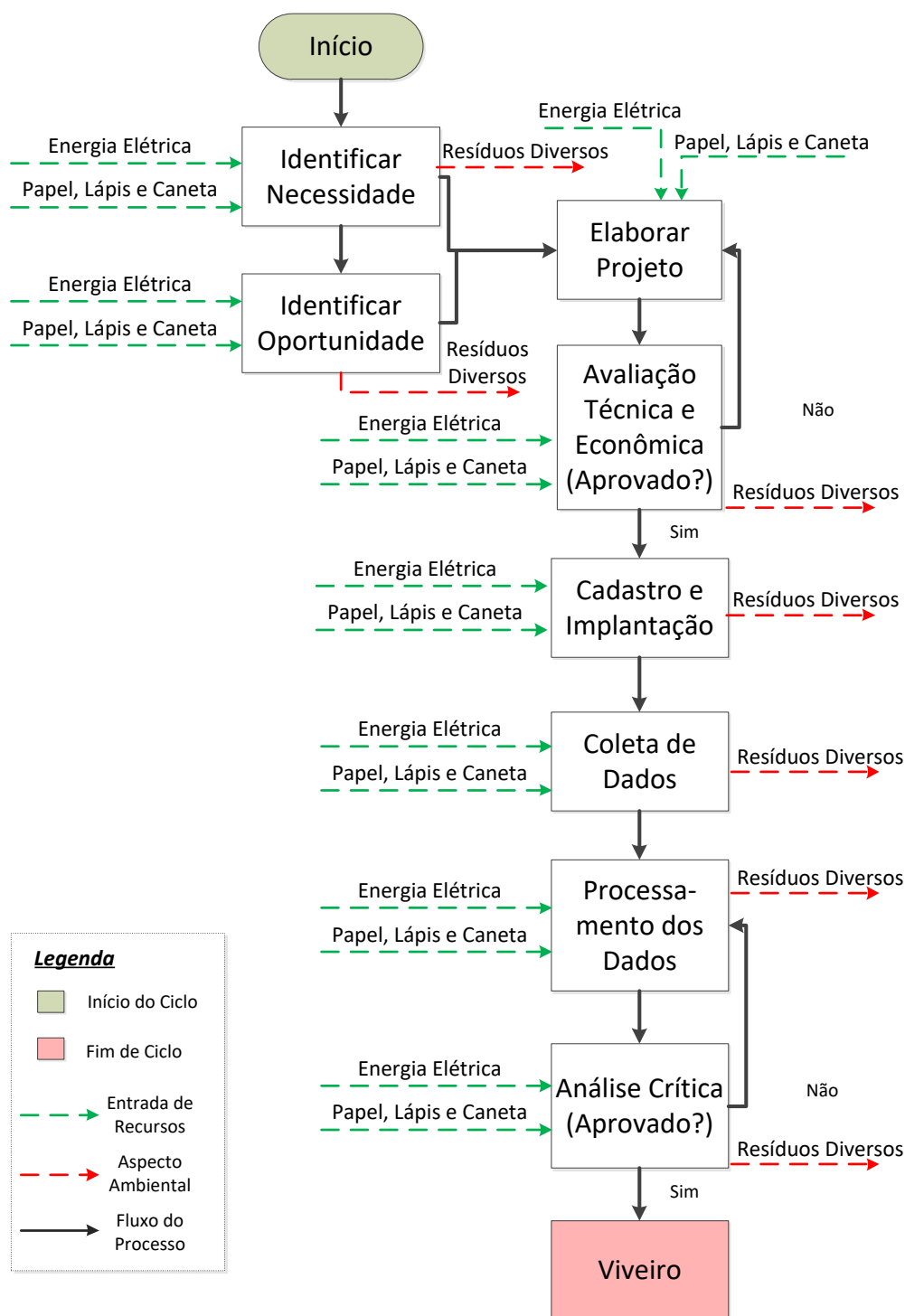


Figura 36 – Fluxograma da etapa de P&D do processo de produção de celulose natural.

A etapa de P&D consiste na base do desenvolvimento e inovação da indústria de celulose e papel, uma das partes importantes do processo, pois é esta etapa que buscam novas tecnologias e práticas a serem aplicadas no processo, fornecendo suporte as áreas do viveiro, reflorestamento e colheita. Nesta etapa, as mudas são preparadas e clonadas em laboratório, a partir de material genético das mudas e das necessidades apontadas em projeto.

Com relação as características ambientais, tal processo traz entradas diversas como consumo de material de escritório e energia elétrica constantemente. Além disso, apresenta consumo de recursos como água e consumo de produtos de limpeza. Como resíduos, tem-se os resíduos de escritório, embalagens dos produtos consumidos, produtos de limpeza, entre outros. Também são descartados e consumidos produtos químicos na área do laboratório, entretanto, os impactos ambientais desta área são considerados baixos. Após a definição do projeto e dos clones, o mesmo é encaminhado para a etapa do viveiro, conforme a Figura 37.

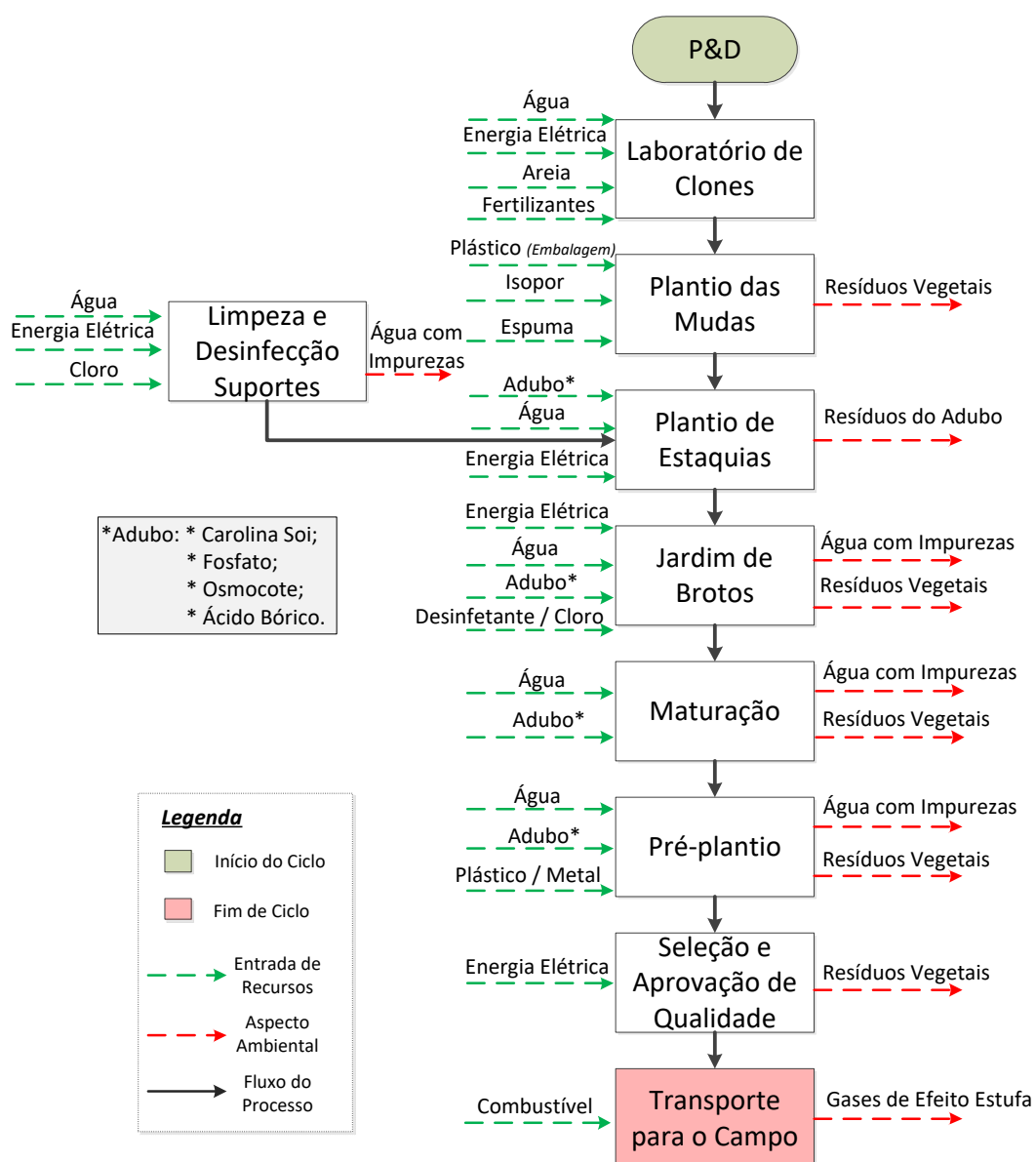


Figura 37 - Fluxograma da etapa do viveiro do processo de produção de celulose natural.

Após a saída do setor de P&D, as mudas são encaminhadas para o viveiro onde se inicia o processo de fortalecimento das plantas. As mudas produzidas a partir dos clones são recebidas; entretanto, para que possam ser plantadas, ainda devem passar pelo processo de análise de resistência em que são retiradas amostras para a realização dos testes para prevenção de bactérias.

Após sua aprovação essas mudas são plantadas, cultivadas em suportes de areia e preparadas com fertirrigação por gotejamento, chamada de etapa do laboratório de clones, dando assim origem a materiais geneticamente clonados, a fim de garantir padronização nas mudas e qualidade das futuras árvores.

Em seguida, os brotos são selecionados, na etapa de plantio das mudas, desde que atendam as características necessárias para sua extração. Corta-se com medidas entre 1,5 cm e 2 cm de haste com no mínimo 1 par de folhas, sendo colocados em caixas de coleta que consistem em caixas de isopor, com água e em baixa temperatura por no máximo 1 hora.

As mudas que não apresentam características para poda são coletadas e espetadas em placas de espuma fenólica umedecidas e limpas, sendo identificadas e colocadas em caixas plásticas, mantidas em câmaras climatizadas, aguardando até seu plantio.

Na etapa seguinte, plantio de estaquias, após a higienização dos suportes, inicia-se a remoção dos resíduos do plantio anterior com água e cloro, enquanto que as bandejas passam em seu processo de lavagem por um jato de alta pressão. Após a lavagem, os suportes são colocados nas bandejas através de uma entubeteadeira, para serem esterilizados em água com temperatura de 70 °C por 3 minutos.

Após a higienização, os brotos são plantados, etapa de plantio de estaquias, sendo utilizado o substrato padrão Carolina Soi, que tem como adubação de base 6,0 kg/m³ de superfosfato simples, 1,5 kg/m³ de osmocote N:P:K: 19:06:10 ou N:P:K: 18:05:09 e 0,3 kg/m³ de ácido bórico.

Os suportes são preenchidos em plataforma vibratória e compactados, para melhor enraizamento, seguido do plantio dos brotos com profundidade aproximada de 2 cm, para serem transferidos para a próxima etapa.

A etapa do jardim de brotos consiste em um ambiente controlado, em que os brotos passam por uma lavagem com alta pressão utilizando desinfetantes a base de ácido peracético ou cloro ativo estabilizado, e mantém a temperatura entre 15 °C e 37 °C com umidade média de 80 %, podendo variar de 70 % a 90 %.

Nesta etapa, os brotos recebem nutrientes balanceados e específicos de acordo com a situação por meio do sistema de irrigação, ficando em torno de 20 a 30 dias durante o período de verão, cuja época de altas temperaturas estimulam o crescimento de raízes, entretanto no inverno permanecerem por um período maior, podendo chegar a 45 dias.

A etapa de maturação é um processo preparatório para o plantio na floresta, possuindo sombrite para minimizar o efeito do sol e diminuindo a irrigação, com prazo de estadia pré-determinado, podendo chegar até 13 dias, dependendo da característica dos brotos e o padrão de qualidade estabelecido em projeto.

Na etapa de pré-plantio as mudas ficam em contato direto com o ambiente natural recebendo os raios solares por alguns dias para se adaptarem. Esta etapa tem como objetivo selecionar as mudas que obtiveram seu enraizamento, para serem transferidas para o campo.

As mudas continuam sendo monitoradas e recebendo os nutrientes até que atinjam o tamanho ideal, sendo suspenso a partir daí para a rustificação, podendo assim adquirir resistência para sua sobrevivência no campo. Após isso, as mudas são classificadas e avaliadas de acordo com o projeto para serem transportadas para o campo.

Com relação a seus impactos, esta etapa tem a entrada de algumas matérias primas como os adubos, fertilizantes e alguns elementos químicos, por exemplo o cloro, que apesar de serem pontuais e de fácil controle requerem um ponto de atenção para não ocorrerem impactos ambientais não esperados durante esta etapa. Com relação aos aspectos ambientais de saída, os resíduos vegetais são reaproveitados no próprio ciclo de produção, enquanto que as águas não geram impactos ambientais significativos.

A Figura 38 apresenta a etapa de reflorestamento do ciclo de produção da celulose natural.

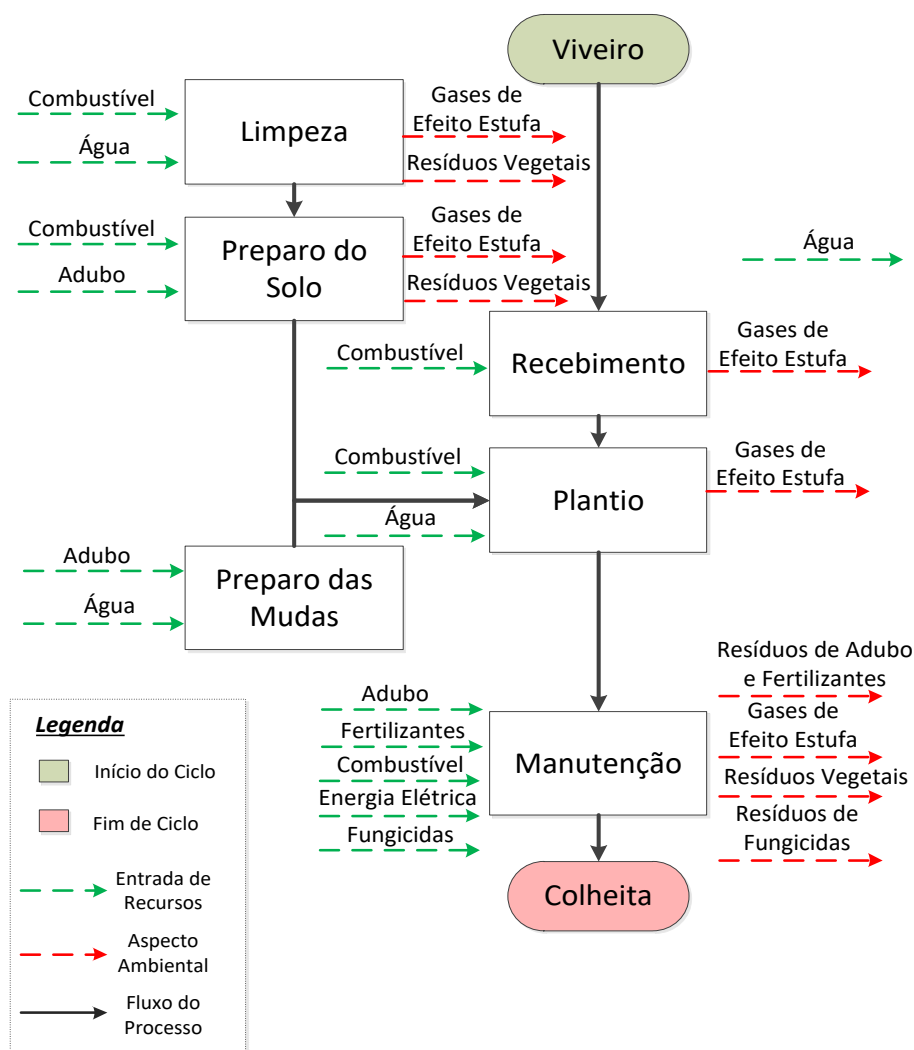


Figura 38 – Fluxograma da etapa de reflorestamento do processo de produção de celulose natural.

Nesta etapa do processo, são feitas as preparações para que se possa efetuar o plantio das mudas recebidas do viveiro. A área que será plantada passa por um processo de limpeza para eliminar qualquer tipo de espécies vegetativas que possam interferir com o plantio e o desenvolvimento das mudas. É feito o gradeamento para o assentamento e a homogeneização do solo, em que as curvas de nível são estruturadas para evitar a erosão e facilitar a infiltração de água, além do alinhamento de outros resíduos de vegetação, fazendo com que haja a mistura dele com o solo favorecendo a sua nutrição.

O preparo do solo segue os padrões definidos no projeto do plantio, para efetuar o coveamento com as distâncias entre as plantas com o objetivo de atender o

espaçamento especificado. Inicia-se então a etapa de plantio e manutenção, recebendo classificações de qualidade, sendo separadas, a partir disso, para as áreas específicas para sua classificação. O plantio é feito mecanicamente e com água, para facilitar o processo.

Para a manutenção definida pela etapa de P&D, as mudas são constantemente monitoradas e passam pela etapa de manutenção, que consiste na adubação e fertilização para o enriquecimento das proteínas do solo e fortalecendo as raízes das plantas. Além disso, tem-se a limpeza de ervas daninhas e controle de pragas que podem aparecer durante esta etapa, mantendo a floresta limpa, a fim de eliminar a competição entre os indivíduos. Nesta etapa, os principais impactos ambientais estão na atividade de manutenção das florestas, com aplicação de químicos para minimizar a inovação de espécies daninhas e adubagem para fortalecer as árvores. A partir disso, inicia-se o processo de colheita, que é apresentado na Figura 39.

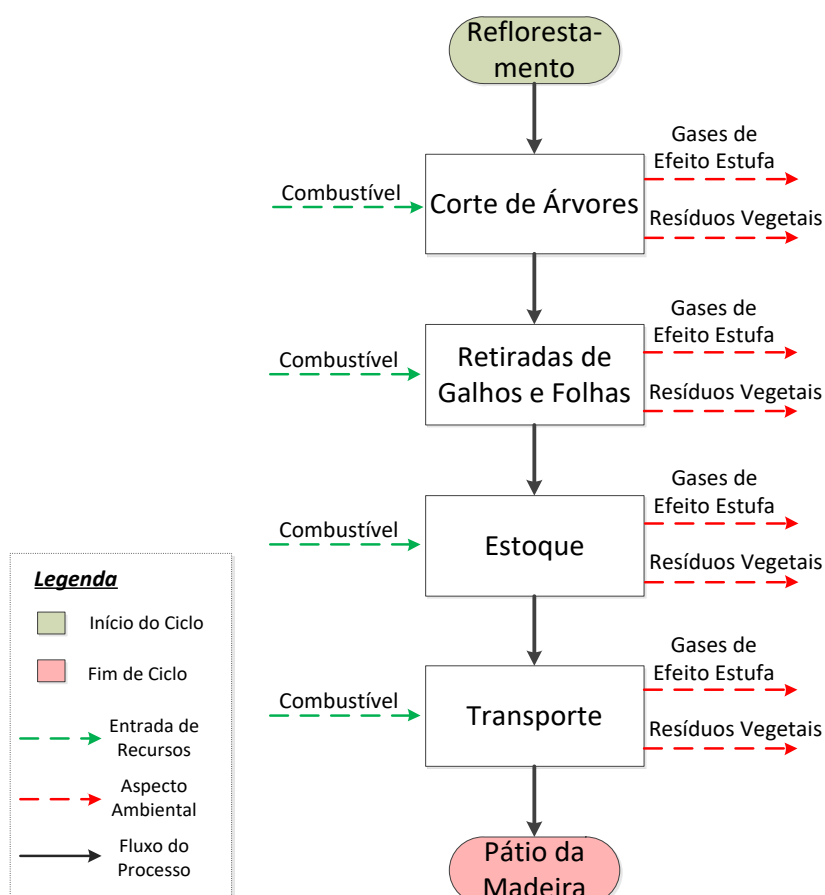


Figura 39 – Fluxograma da etapa de colheita do processo de produção de celulose natural.

O processo de colheita é realizado de forma mecânica, visando as questões de segurança do trabalho e padronização, mas pode ser feito de maneira manual em circunstâncias adversas. Na colheita, as árvores são cortadas, padronizadas e agrupadas visando seu preparo para as próximas etapas. Em seguida, os feixes são agrupados de forma a preencherem a garra e são arrastados, colocados paralelamente, formando pilhas uniformes para que no traçamento sejam cortados em toretes tanto para a celulose quanto para energia (biomassa) formando pilhas de aproximadamente 3 m de altura para serem colocadas no caminhão.

Assim, encerra-se o primeiro ciclo de produção de celulose, em que as matérias primas, que são a base do processo de produção fabril, estão nos padrões projetados. Pode-se observar uma significativa interação entre esse ciclo inicial do processo de produção e o meio ambiente, uma vez que desde a etapa de pesquisa e desenvolvimento diversos são os impactos ambientais oriundos do processo, apesar de a maioria desses impactos serem de classificação baixa.

Nesse sentido, este ponto de coleta de madeiras foi a primeira etapa do ciclo de produção da celulose escolhido para ser utilizada como *biochar*, uma vez que consiste em uma etapa de transição do processo, em que já há a logística da área de floresta para a área de fabricação. Aliado a isso, tem o fato de a celulose estar no estado natural, o que corrobora com alguns estudos que a utilizaram como *biochar* (ANDERSON *et al.*, 2011; TAN *et al.*, 2015; JAINA *et al.*, 2016; AHMED *et al.*, 2019).

A Figura 40 apresenta o fluxograma simplificado apontando as principais entradas e saídas do processo (as entradas e saídas da celulose natural estão detalhadas na LAIA apresentada no Apêndice B).

É possível observar que todas as etapas do processo apresentam uma intensa interação com o meio ambiente, com significativas entradas de insumos até a obtenção do torete que será a base do segundo ciclo de produção da celulose.

Destacam-se, os fertilizantes, fungicidas, entre outros, que são utilizados para o controle das pragas durante as etapas de plantio e manutenção, gerando impactos diretos e indiretos ao meio ambiente. A Figura 41 apresenta os principais impactos, sua classificação e as principais medidas de mitigação.

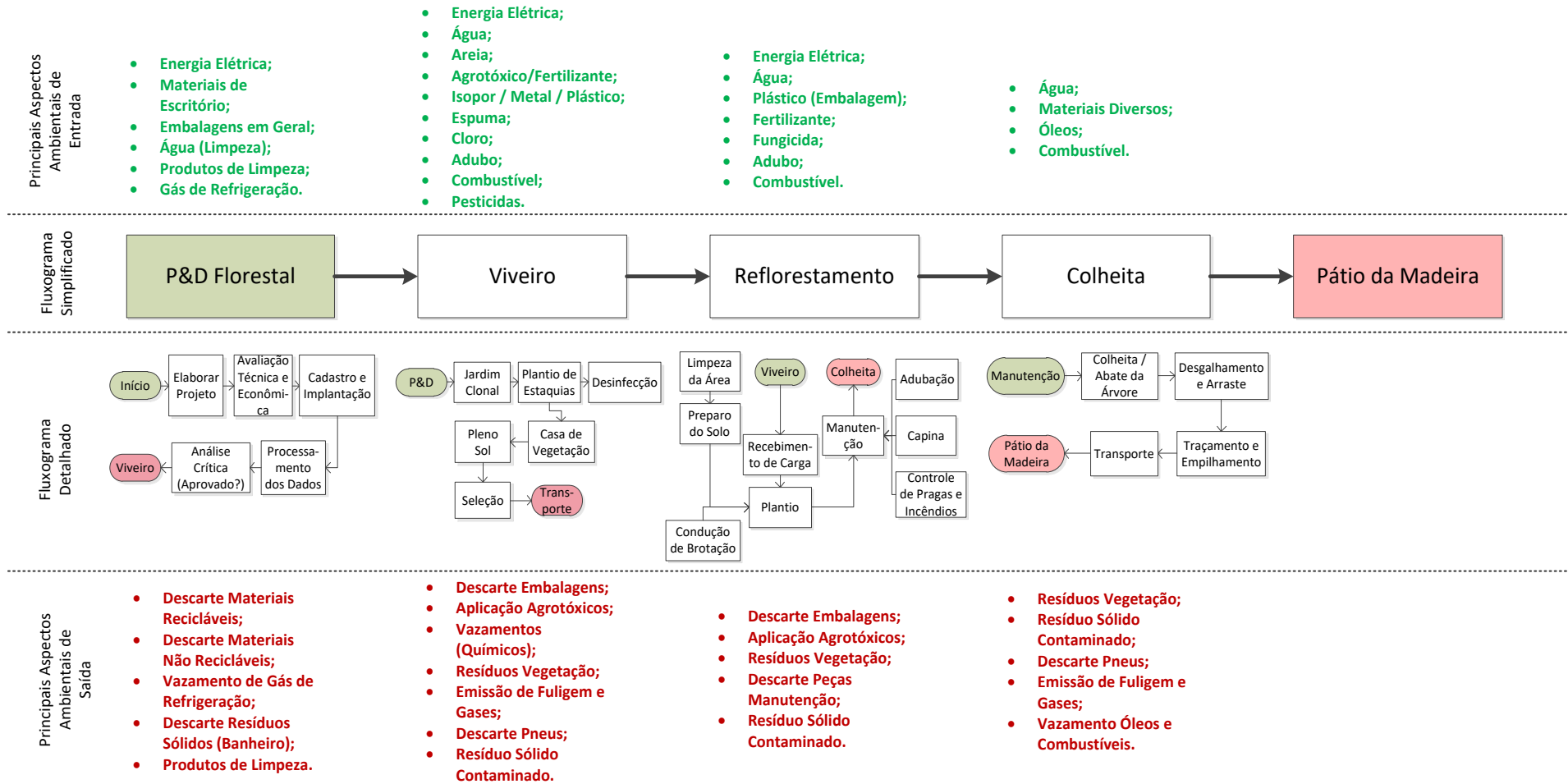


Figura 40 – Fluxograma do processo de produção da celulose natural apresentando as principais entradas e saídas do processo.

Impactos Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da Qualidade do Solo; • Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; • Alteração na Qualidade do Ar; • Alteração na Qualidade da Água. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da Qualidade do Solo; • Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; • Alteração na Qualidade do Ar; • Alteração na Qualidade da Água. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da Qualidade do Solo; • Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; • Alteração na Qualidade do Ar; • Alteração na Qualidade da Água; • Redução Biodiversidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da Qualidade do Solo; • Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; • Alteração na Qualidade do Ar; • Alteração na Qualidade da Água.; • Redução Biodiversidade.
Resumo Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Imp. Desprezíveis – 12;</u> • <u>Imp. Aceitáveis – 4.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Imp. Desprezíveis – 11;</u> • <u>Imp. Aceitáveis – 2.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Imp. Desprezíveis – 10;</u> • <u>Imp. Aceitáveis – 3.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Imp. Desprezíveis – 10;</u> • <u>Imp. Aceitáveis – 18;</u> • <u>Imp. Moderados – 4.</u>
Principais Medidas de Mitigação	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta Seletiva; • Conscientização sobre Consumo; • Plano de Manutenção Ar Condicionado; • Sistema de Tratamento de Águas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta Seletiva; • Agrotóxicos Certificados; • Envio Setor Resíduos Vegetação; • Retirado Produtor; • Equipamentos de Contenção; • Medição Semestral da Fumaça e Manutenção; • Sistema de Tratamento de Águas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta Seletiva; • Agrotóxicos Certificados; • Envio Setor Resíduos Vegetação; • Retirado Produtor; • Medição Semestral da Fumaça e Manutenção; • Sistema de Tratamento de Águas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta Seletiva; • Agrotóxicos Certificados; • Envio Setor Resíduos Vegetação; • Retirado Produtor; • Medição Semestral da Fumaça e Manutenção; • Sistema de Tratamento de Águas.

Figura 41 – Classificação dos impactos identificados e principais medidas de mitigação para a produção da celulose natural.

Esse processo gera impactos ambientais a partir de elementos considerados complexos de serem tratados pelas ETE's convencionais, caso dos pesticidas e fertilizantes, que somados à outros aspectos ambientais de saída podem contaminar solos e águas superficiais. Além disso, a geração de resíduos orgânicos enriquecidos com adubo pode causar impactos indiretos nas áreas circunvizinhas às áreas de plantio se não forem controlados. Entretanto, esses impactos são considerados de baixa significância, quando analisada a ACV da celulose, uma vez que suas consequências são monitoradas e controladas de forma eficiente, além de serem desenvolvidas tecnologias para aumentar sua eficiência a muito tempo.

Neste ciclo inicial, há um grande investimento de recursos e tecnologia até a celulose chegar ao pátio da madeira, visando sua transformação para os diversos setores da indústria de papel, se apresentando importante a discussão a respeito da viabilidade na utilização desse material no processo de adsorção de poluentes. Entretanto, é importante entender se há uma variação na eficiência da adsorção de poluentes utilizando a celulose em diferentes etapas do seu ciclo de vida.

Outro ponto a destacar no processo consiste na quantidade de árvores que são necessárias para a produção de 1 t de celulose branqueada. De uma maneira geral, são utilizadas em média 1,85 t de madeira seca para a produção de 1 t de celulose branqueada, o que consiste em cerca de 13 árvores de eucalipto. Assim, para a produção de celulose é utilizada uma grande quantidade de massa vegetal, que passa por um sistema de projeto e desenvolvimento até chegarem a vida adulta, levando em média de 5 a 7 anos para atingir a idade de maturação e corte para seu aproveitamento.

Como medidas de mitigação nessa etapa, tem-se o constante monitoramento na aplicação de fertilizantes e preparo do terreno para o plantio, uma vez que esse ciclo inicial apresenta poucos impactos ambientais, considerados moderados, e nenhum impacto ambiental grave. Entretanto, a adubação consiste em um aspecto ambiental de entrada que necessita de monitoramento constante.

4.1.2 Produção de Celulose Branqueada e Papel

A Figura 42 apresenta o fluxograma simplificado da etapa de corte da madeira no pátio da madeira, usada como matéria prima para a produção de celulose e papel.

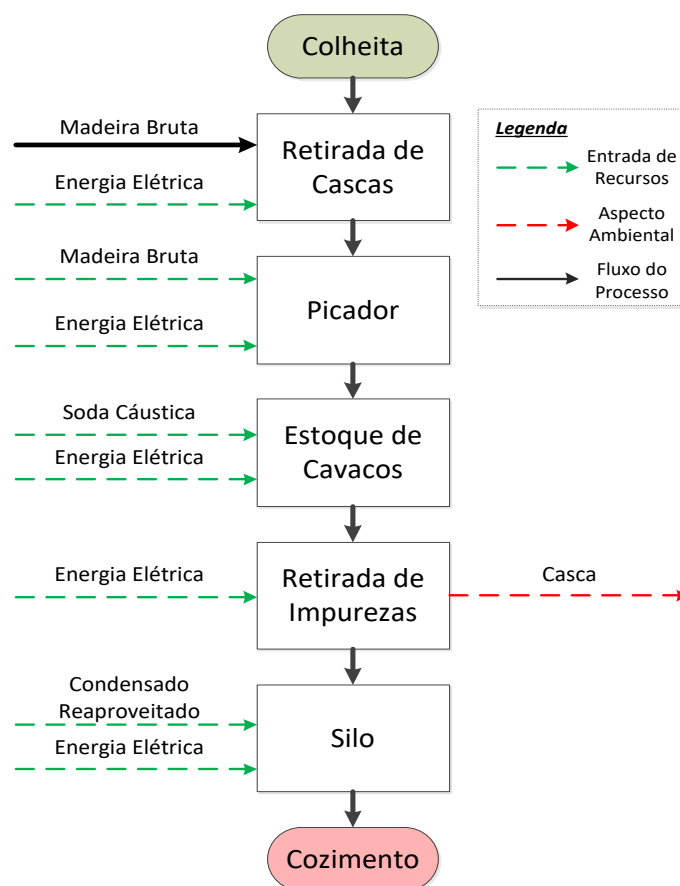


Figura 42 – Fluxograma da etapa do pátio da madeira do processo de produção de celulose e papel.

As toras de madeira são recebidas padronizadas da etapa de colheita e passam por uma esteira vibratória, tambores e um processo de lavagem para a retirada de resíduos como cascas, folhas e galhos. Na retirada das cascas, há a separação das toras de madeiras de cascas e pequenos galhos sendo encaminhadas para o tambor picador, onde os cavacos são classificados e peneirados, separando os cavacos fora do padrão para as caldeiras de biomassa. A madeira picada é transportada por uma esteira para a pilha de cavaco e, posteriormente, alimenta a etapa do cozimento que ocorre no digestor.

O balanço ambiental desta etapa de produção não apresenta saídas significativas, uma vez que toda a transformação nesta etapa é de característica

física, com a inserção de soda cáustica, que consiste no maior problema ambiental desta etapa; a maioria dos impactos desta etapa é de fácil remediação.

As madeiras apresentam em sua estrutura cerca de 45% de celulose (glucose), 30% de hemicelulose (mistura de glucose, galactose, manose, xylose e arabinose), 20% de lignina (estruturas fenólicas condensadas) e 5% de extrativos (ácidos resinosos, ácidos graxos, entre outros), valores condizentes com os encontrados por Candelier *et al.* (2013). Nesta etapa, 80% das cascas são separadas no descascador e a quantidade do cavaco para a preparação da celulose é homogeneizada na pilha de cavacos a 400 kg/m³.

Em seguida, vem a etapa de cozimento dos cavacos cujo objetivo consiste em separar as fibras da madeira buscando dissolver a maior parte da lignina contida nas paredes das fibras. Além disso, tem a extração do licor negro após o processo, durante a lavagem da polpa. O processo simplificado é apresentado na Figura 43.

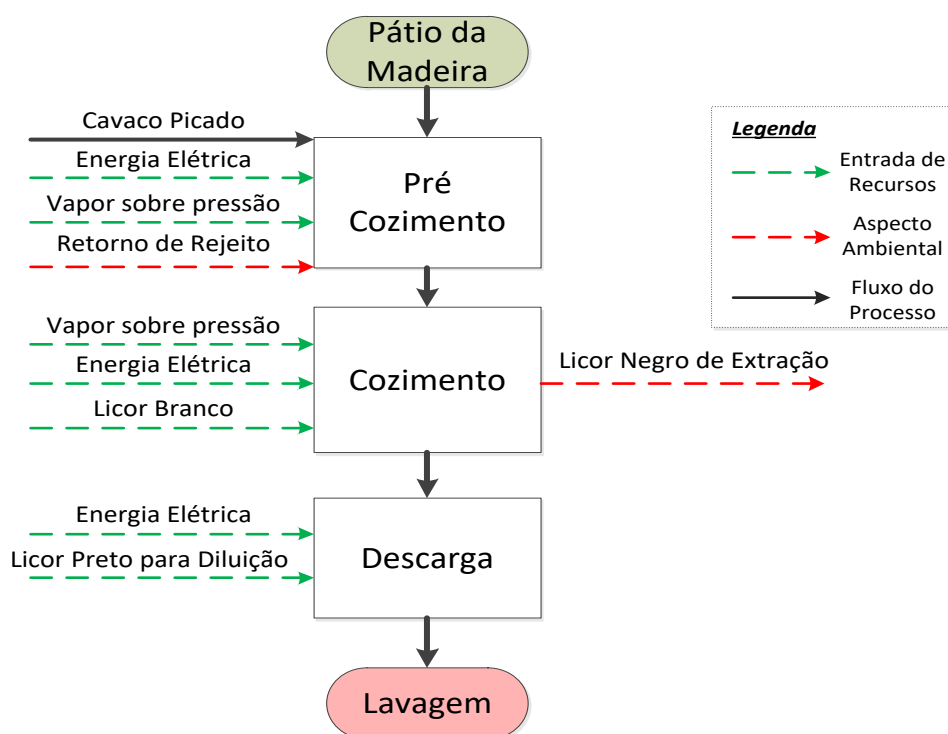


Figura 43 – Fluxograma da etapa de cozimento do processo de produção de celulose e papel.

No processo de cozimento ocorre a maior inserção de insumos durante a produção da celulose e papel, em que se destaca a entrada do licor branco e água na forma de vapor, visando criar uma polpa com a celulose. Por meio da

queima das cascas e resíduos de madeira, essa polpa se aquece formando uma massa marrom, tendo como resultado negativo a produção do licor negro, pior resíduo do processo de produção de celulose e papel (NAQVI *et al.*, 2010; VAN EWIJK; PARK e CHERTOW, 2018). Esta etapa apresenta boa parte dos piores impactos ambientais da ACV da celulose; entretanto, ações de mitigação de impactos estão em constante desenvolvimento, como a queima do licor negro e cascas no silo e entrada de vapor d'água sobre pressão.

Busca-se separar as fibras pela dissolução da lignina inserindo o licor branco (hidróxido e sulfeto de sódio) e vapor d'água que solubiliza a lignina presente no cavaco, liberando a celulose. Neste processo, ocorre a maior dissolução de hemicelulose e celulose, influenciando no rendimento, ou seja, celulose e hemicelulose reagem com a soda cáustica (NaOH) durante o cozimento.

O próximo passo do processo consiste na lavagem da celulose com água quente para a retirada dos resíduos de licor negro, recuperando o máximo possível da soda usada no cozimento e a parcela de madeira que se transformou em líquido. Esta etapa do processo busca facilitar a etapa do branqueamento, reduzindo o consumo de alvejantes e produtos químicos e, principalmente, tornando o efluente mais limpo. O processo é apresentado na Figura 44.

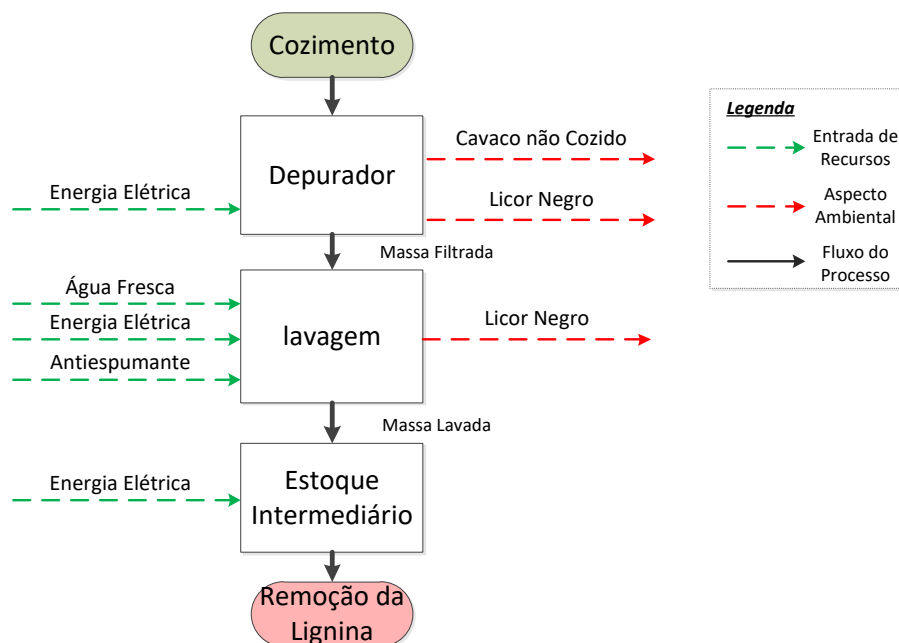


Figura 44 – Fluxograma da etapa de lavagem do processo de produção de celulose e papel.

Este processo, por se tratar de um processo de limpeza, possui a entrada de água e de componentes químicos (como o antiespumante, soda, licor branco e licor verde) que tem o objetivo de retirar possíveis impurezas que podem prejudicar a etapa de branqueamento da celulose. Esta etapa consiste na segunda com maior potencial de causar impactos ambientais na ACV da celulose, uma vez que tem alto consumo de água, produtos químicos e apresenta como aspectos de saída um efluente complexo.

Após a etapa de lavagem da polpa marrom, inicia-se a etapa de remoção da lignina, em que vários insumos químicos podem ser utilizados no branqueamento da polpa (oxigênio, ozônio, cloro, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, entre outros). Assim, o objetivo consiste em dar continuidade a etapa de remoção da lignina iniciada no cozimento sem degradar a fibra de celulose. O processo simplificado é apresentado na Figura 45.

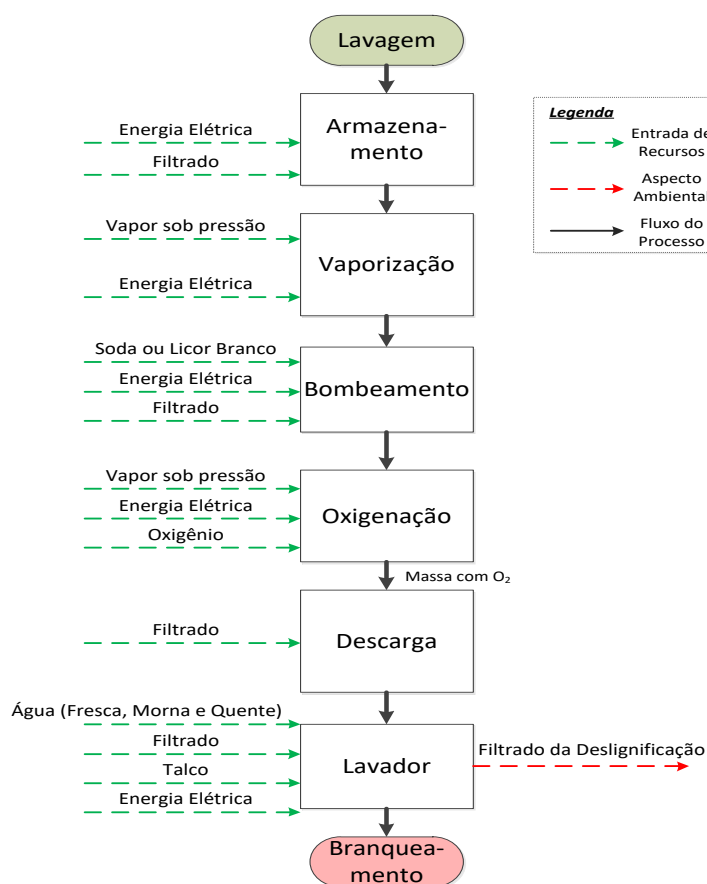


Figura 45 – Fluxograma da etapa de remoção da lignina do processo de produção de celulose e papel.

Nesta etapa, a polpa de celulose passa por uma série de procedimentos que visam iniciar a preparação química da celulose para o branqueamento, onde a

polpa tem diversas entradas de produtos químicos, água, oxigênio somados a energia elétrica visando a estruturação da fibra. Como saídas, os excessos desses produtos químicos são retirados nos próprios processos, visando diminuir a utilização do elemento branqueador.

A etapa de branqueamento busca deixar a polpa de celulose com as características necessárias para o corte do papel. Tendo como principais compostos o dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio e oxigênio. Isto tornou, em função do tempo, a etapa de branqueamento de celulose mais amigável ambientalmente. A redução de compostos de cloro no branqueamento consiste em uma ação de melhoria contínua da etapa devido a busca por materiais menos agressivos ao ambiente e às populações. A etapa simplificada é apresentada na Figura 46.

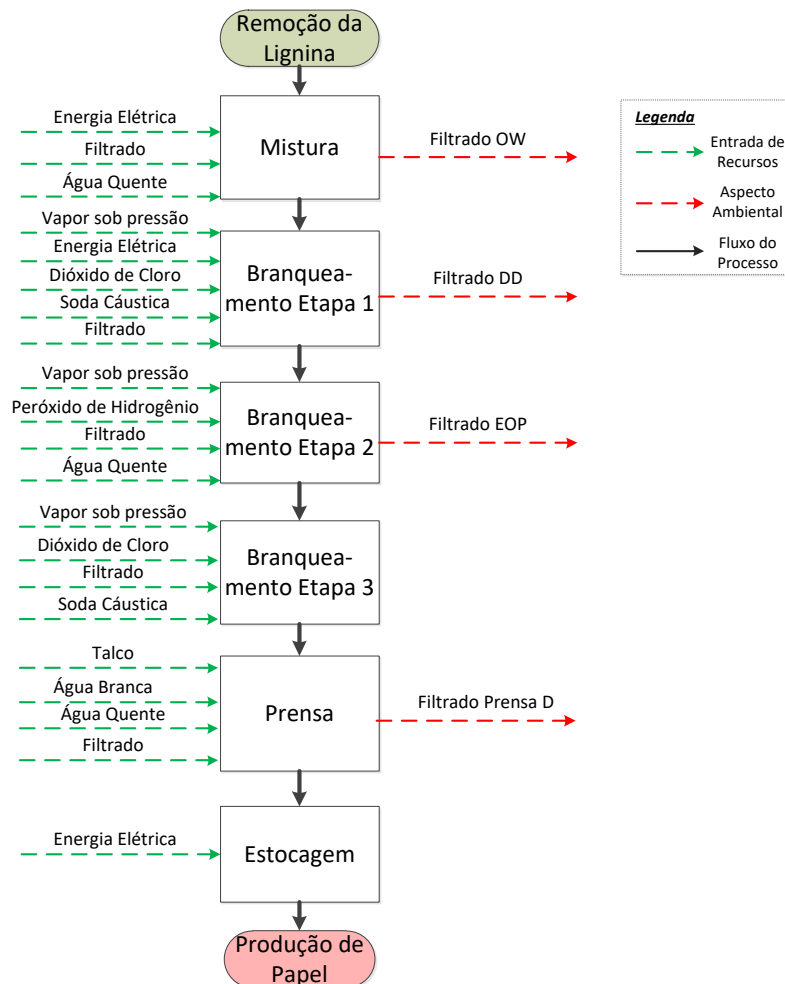


Figura 46 – Fluxograma da etapa do branqueamento do processo de produção de celulose branqueada.

A etapa do branqueamento também possui um sistema de lavagem visando retirar o excesso de produtos químicos que não são absorvidos pela polpa. A etapa de lavagem do sistema segue um fluxo contracorrente, onde é utilizada grande quantidade de água, visando otimizar o processo, uma vez que a água passa da celulose mais limpa para as etapas em que ela apresenta várias impurezas, sendo possível a retirada dessas águas posteriormente.

A polpa de celulose é enviada para as torres de estocagem seguindo para as máquinas utilizadas para a fabricação do papel. Na etapa de fabricação do papel, o mesmo passa por rolos em que o papel toma forma, sendo prensado em seguida para sua padronização.

Após a prensagem, o papel passa pela etapa de secagem e calibração de espessura até a etapa de acabamento para ser enrolado ou cortado nos formatos desejados.

A Figura 47 apresenta, de maneira geral, o processo de produção do papel desde o pátio da madeira até a expedição do papel acabado, após a análise de qualidade, apresentando suas principais entradas, saídas e a representação geral de seus impactos ambientais (as principais entradas e saídas da celulose branqueada estão detalhadas na LAIA apresentada no Apêndice C).

As etapas foram agrupadas com o objetivo de demonstrar a dimensão dessa etapa do ciclo de vida da celulose e papel para a escolha de que parte deste ciclo seria ideal para a retirada da celulose como *biochar* para ser utilizada nas análises experimentais.

A Figura 47 apresenta a grande diversidade de recursos que entram no processo de produção da celulose branqueada e papel, responsáveis pela maior quantidade de impactos ambientais oriundos do processo de produção do papel. Destacam-se as grandes quantidades de produtos químicos que são adicionados ao ciclo de produção e a formação de resíduos perigosos como o licor negro e os materiais ionizantes, por exemplo.

A Figura 48 apresenta a classificação dos impactos ambientais e algumas medidas de mitigação.

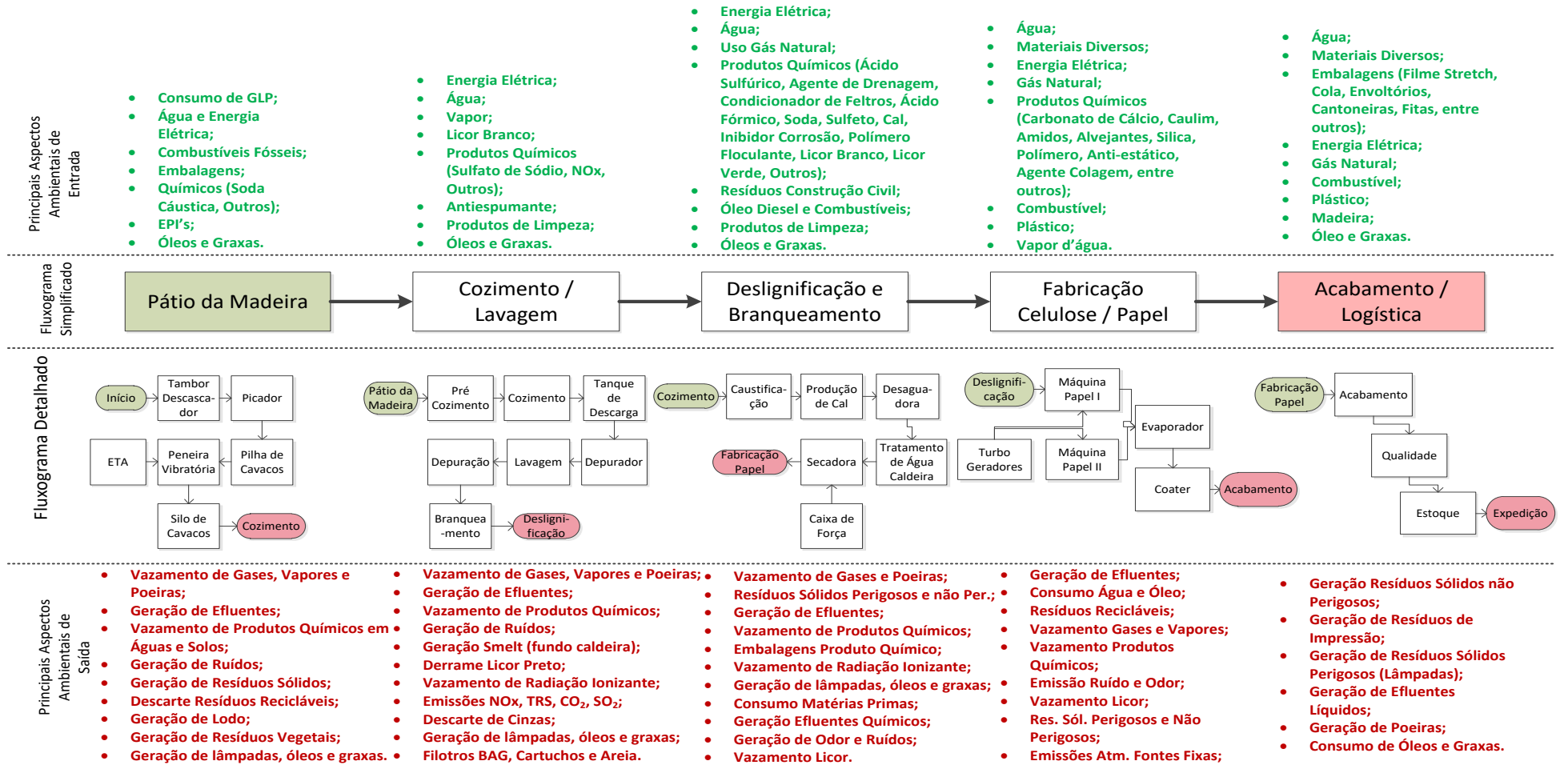


Figura 47 – Fluxograma do processo de produção de celulose e papel apresentando as principais entradas e saídas do processo.

Impactos Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; <u>Escassez dos Recursos Naturais;</u> Alteração na Qualidade do Ar; <u>Alteração na Qualidade da Água;</u> <u>Incômodos a Vizinhança;</u> Morte dos Animais; Danos a Vegetação de APP. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; <u>Escassez dos Recursos Naturais;</u> Alteração na Qualidade do Ar; <u>Alteração na Qualidade da Água;</u> <u>Incômodos a Vizinhança;</u> Morte dos Animais; Alteração Biota. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água; Redução Biodiversidade; Alteração do Meio Ambiente; Incomodo a Comunidade; Incomodo ao Público Interno; Alteração Biota. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água; Alteração do Meio Ambiente; Incomodo a Comunidade; Incomodo ao Público Interno; Alteração na Qualidade Efluente a ser Tratado. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água; Alteração do Meio Ambiente; Incomodo a Comunidade.
Resumo Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 5;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 46;</u> <u>Imp. Moderados – 9.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 9;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 108;</u> <u>Imp. Moderados – 30;</u> <u>Imp. Críticos – 5.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 16;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 97;</u> <u>Imp. Moderados – 35;</u> <u>Imp. Graves – 1.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Aceitáveis – 36;</u> <u>Imp. Moderados – 18;</u> <u>Imp. Grave – 2.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 5;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 36;</u> <u>Imp. Moderados – 3.</u>
Principais Medidas de Mitigação	<ul style="list-style-type: none"> Bacia de Contenção; Limite de Outorga; Queima para Produção de Energia; Coleta Seletiva; Rondas Externas; Compostagem; Tratamento de Efluentes; Monitoramento Visual das APP's; Medição das fumaças e foligens; Descarte em Aterros Especializados. 	<ul style="list-style-type: none"> Planos de Controle de Emissões Atmosféricas; Acompanhamento Diário do Consumo de Energia; Desenvolvimento de Parâmetros de Controle de Processos; Treinamento Segurança do Trabalho para Radiação; Otimização na Combustão das Caldeiras; Canaletas Interligadas com a ETE; Fechamento do Circuito para Recuperação do Condensado; Manutenções Preventivas; Coleta Seletiva; Cinzas são Retornadas ao Processo; Licor e Água são Contidos e Retornam ao Processo. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso Racional de Recursos; Tanques de Contenção; Controle de Resíduos Sólidos; Tratamento ETE; Monitoramento Constante Temperatura e Gases; Caixa Contenção Óleos e Graxas; Monitoramento Ruído e Odores ao Redor; Reutilização Resíduos; Produção de Energia Destinação Correta Embalagens; Canaletas Interligadas para Tratamento Efluentes; Coleta Seletiva; Fechamento de Circuito para Reaproveitamento Condensado. 	<ul style="list-style-type: none"> Reúso de Água; Manutenção Preventiva; Monitoramento Contínuo; Coleta Seletiva; Uso Racional de Recursos; Coleta e Disposição Adequada de Resíduos; Reutilização no Processo de Preparação de Tinta; Respeito a Outorga; Tratamento ETE; Retenção em Tanques Controlados; Monitoramento Ruído e odores; Prevenção de Incêndios. 	<ul style="list-style-type: none"> Coleta Seletiva; Uso Racional de Recursos; Coleta e Disposição Adequada de Resíduos; Exigência para Extração de Madeira Própria (Procedência da Madeira); Controle de Consumo; Monitoramento Constante; Revisão Periódica Equipamentos.

Figura 48 – Classificação dos impactos identificados e principais medidas de mitigação para a produção da celulose e papel.

Dos impactos observados, destacam-se os relacionados aos resíduos líquidos, devido as alterações no ciclo da água e a dificuldade de se iniciar processos de tratamento desses recursos na própria planta, pois, além do alto custo do tratamento, são passíveis de impactarem, localmente, uma grande área se forem mal manuseados.

A partir da análise desta etapa do ciclo de produção do papel, decidiu-se usar neste trabalho a celulose branqueada como fase intermediária do ciclo de vida do papel, uma vez que diminui os impactos ambientais, em uma análise sustentável, para a sua utilização como elemento filtrante. Assim, utilizar o papel branco como elemento filtrante aumenta consideravelmente seus impactos ambientais, enquanto que a celulose branqueada, retirada na fase intermediária do processo, consiste em um material intermediário da ACV, gerando benefícios econômicos para sua utilização como *biochar*.

Visando correlacionar a produção de madeira bruta com a produção de celulose branqueada, a Figura 49 apresenta uma análise quantitativa do processo de produção da celulose branqueada.

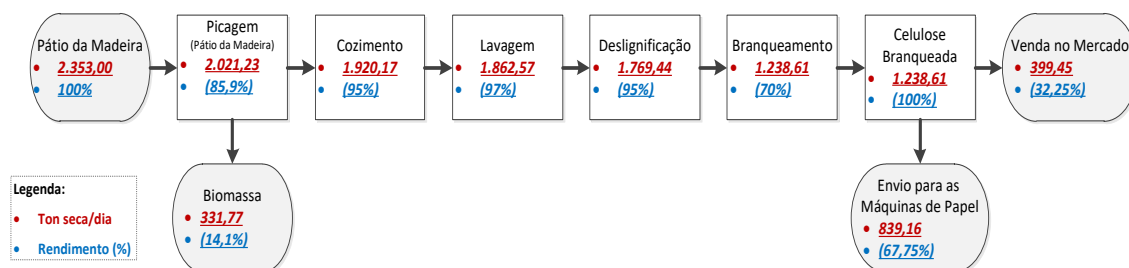


Figura 49 – Balanço de massa da utilização de madeira no processo de produção de celulose branqueada.

Em todas as etapas do processo há uma perda na quantidade bruta de madeira, diminuindo a sua proporção para a fabricação da celulose branqueada. Nesse sentido, há a entrada de 2.353 t de madeira no processo, cerca de 14% é retirada do processo na etapa de picagem, indo para as caldeiras na forma de biomassa. Em seguida, outro ponto crítico é a etapa de branqueamento, que possui cerca de 70% de eficiência no preparo da celulose, diminuindo a quantidade de madeira para cerca de 52,64% do total de madeira que vai ser destinada ou para a venda como celulose branqueada, ou ainda como matéria prima para a produção de papel.

4.1.3 Produção de Celulose Reciclada

A reciclagem de papel para produção de celulose reciclada tem variações, devido aos propósitos e objetivos do processo de reciclagem de tal forma que a reciclagem altera a composição das fibras da celulose, alterando a eficiência de sua aplicação dependendo do seu destino.

Nesse estudo, a fim de preparar o material como elemento filtrante, estudou-se o processo de recuperação do papel de forma simplificada, uma vez que sua aplicação consiste na forma de *biochar*, que tem como característica a alteração das propriedades físicas por meio do aumento da temperatura na etapa de carbonização. De uma maneira geral, o processo de produção de papel reciclado se assemelha ao processo de produção de papel branco, mas menos intensivo, uma vez que reaproveita as fibras já formadas no seu primeiro ciclo de produção. A Figura 50 apresenta, de maneira simplificada, o processo de produção do papel reciclado.

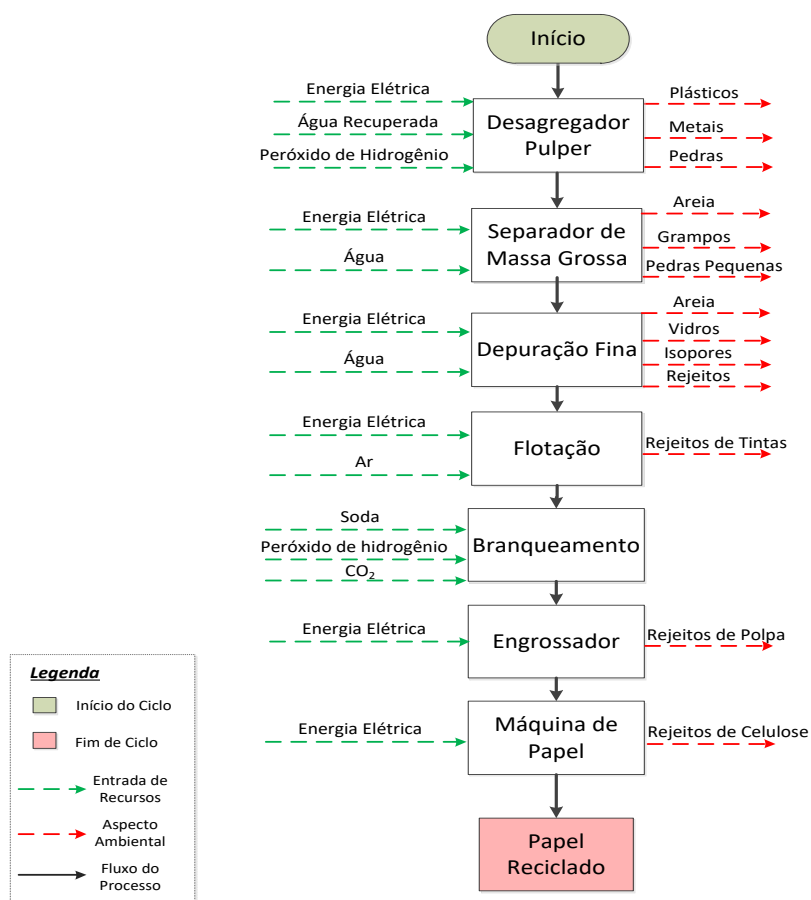


Figura 50 – Processo de produção do papel reciclado.

O processo de produção do papel reciclado tem início na logística para recuperação desse material a partir do consumidor, etapa que apresenta uma certa complexidade com relação a logística reversa desse material, uma vez que não é rentável economicamente em pequenas quantidades. Após o recebimento do material, inicia-se o processo pela etapa de desagregação onde são retirados os materiais que muitas vezes estão misturados com o papel e não são de fácil remoção devido ao volume, com a adição de água.

Nesta etapa, são retirados resíduos como pedras, metais e plásticos grosseiros, podendo ser realizado tanto por meio de maquinários como manualmente envolvendo esteiras vibratórias, dependendo do porte da empresa de reciclagem. Em um segundo momento, o papel passa pela depuração fina (também chamada de lavagem), em que os materiais retirados consistem em areia, vidros, plásticos, isopores e outros rejeitos menores que não foram retirados na primeira etapa. Essa sequência de procedimentos funciona como peneiras cada vez menores que vão retirando as impurezas do papel.

Após este processo, vem a etapa de dispersão e flotação que busca dissolver os contaminantes utilizando a elevação da temperatura, além de ser utilizada para a remoção das partículas de tinta da massa. Essa etapa busca deixar a massa reciclada mais uniforme para o processo de branqueamento. Para a maioria dos usos do papel reciclado, esta etapa é suficiente para dar o grau de clareza necessário, sem a necessidade de adicionar outros elementos como alvejantes. O branqueamento na reciclagem de papel segue, de uma maneira simplificada, o branqueamento da celulose virgem.

Assim, a pasta de celulose segue para o molde no tamanho desejado, sendo prensada e secada antes de ir para a enroladeira onde os rolos são formados, seguindo também um sistema parecido com o papel oriundo da celulose virgem.

A Figura 51 apresenta, de uma forma simplificada, as entradas e saídas principais do processo de produção de papel reciclado. Enquanto que a Figura 52 apresenta os principais impactos ambientais oriundos do sistema de produção da celulose reciclada e as principais medidas de mitigação (as entradas e saídas da celulose reciclada estão detalhadas na LAIA apresentada no Apêndice D).

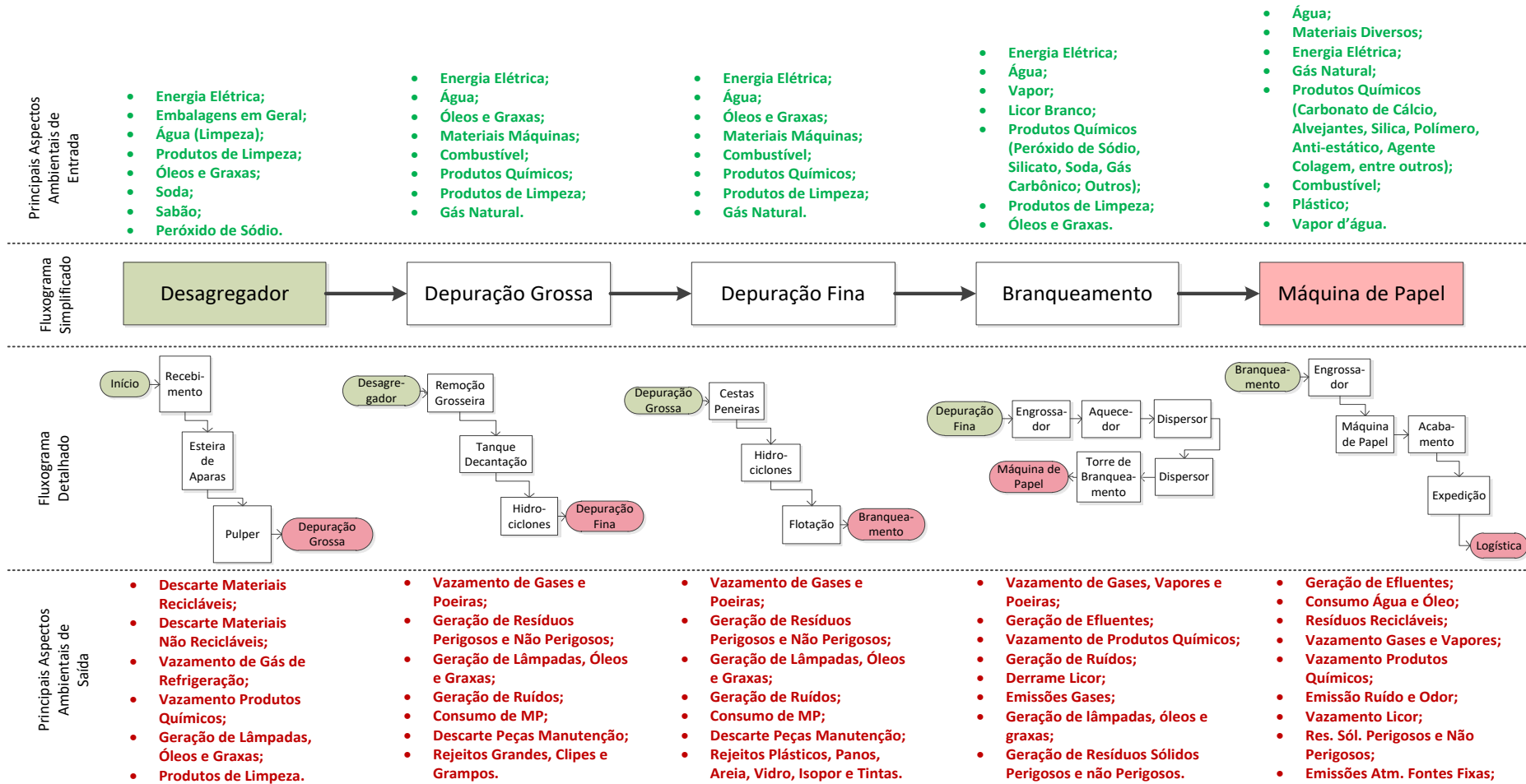


Figura 51 – Fluxograma do processo de produção da celulose reciclada apresentando as principais entradas e saídas do processo.

Impactos Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água; Geração de Efluentes; Geração de Resíduos Sólidos não Perigosos; Geração de Lâmpadas, Óleos e Graxas. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água; Geração de Efluentes; Geração de Resíduos Sólidos não Perigosos; Geração de Lâmpadas, Óleos e Graxas. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; <u>Escassez dos Recursos Naturais;</u> Alteração na Qualidade do Ar; <u>Alteração na Qualidade da Água;</u> <u>Incômodos a Vizinhança;</u> Morte dos Animais; Alteração Biota. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da Qualidade do Solo; Redução da Disponibilidade de Recursos Naturais; Alteração na Qualidade do Ar; Alteração na Qualidade da Água; Alteração do Meio Ambiente; Incomodo a Comunidade; Incomodo ao Público Interno; Alteração na Qualidade Efluente a ser Tratado.
Resumo Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 3;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 26;</u> <u>Imp. Moderados – 9.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Aceitáveis – 12;</u> <u>Imp. Moderados – 6.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Aceitáveis – 17;</u> <u>Imp. Moderados – 9;</u> <u>Imp. Graves – 2.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 1;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 43;</u> <u>Imp. Moderados – 11;</u> <u>Imp. Grave – 1.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Imp. Desprezíveis – 2;</u> <u>Imp. Aceitáveis – 36;</u> <u>Imp. Moderados – 12;</u> <u>Imp. Grave – 1.</u>
Principais Medidas de Mitigação	<ul style="list-style-type: none"> Coleta Seletiva; Conscientização sobre Consumo; Descarte em Aterros Especializados; Monitoramento Constante; Tanques de Contenção. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso Racional de Recursos; Controle de Resíduos Sólidos; Monitoramento Constante; Tanques de Contenção; Reutilização de Resíduos; Tratamento de Efluentes; Coleta Seletiva; 	<ul style="list-style-type: none"> Uso Racional de Recursos; Controle de Resíduos Sólidos; Monitoramento Constante; Tanques de Contenção; Reutilização de Resíduos; Tratamento de Efluentes; Coleta Seletiva; 	<ul style="list-style-type: none"> Planos de Controle de Emissões Atmosféricas; Acompanhamento Diário do Consumo de Energia; Desenvolvimento de Parâmetros de Controle de Processos; Otimização do Processo; Canaletas Interligadas para contenção e envio a ETE; Manutenções Preventivas; Coleta Seletiva; Licor e Água são Contidos e Retornam ao Processo. 	<ul style="list-style-type: none"> Reúso de Água; Manutenção Preventiva; Monitoramento Contínuo; Coleta Seletiva; Uso Racional de Recursos; Coleta e Disposição Adequada de Resíduos; Respeito a Autorga; Tratamento ETE; Monitoramento Ruído e odores; Prevenção de Incêndios.

Figura 52 – Classificação dos impactos identificados e principais medidas de mitigação para a produção da celulose reciclada.

É possível observar que as etapas que mais têm entradas e saídas consistem no branqueamento e na máquina de papel, onde a polpa de celulose reciclada é tratada e preparada para ser moldada em papel. Percebe-se também que o ciclo da celulose reciclada é mais simples e causa menos impactos ambientais do que o ciclo de celulose virgem, consumindo menos água (economizando mais da metade da água consumida) e energia, podendo chegar até 70% de economia. Além disso, evita o corte de árvores, uma vez que a celulose não vem do meio natural, e reduz os impactos com a poluição durante o processo e o descarte desses materiais

O ciclo de produção apresenta uma menor quantidade de impactos ambientais graves, quando correlacionado com o ciclo a partir da celulose natural, uma vez que, apesar das tintas presentes na pasta reciclada, o processo de branqueamento é mais simples, não sendo necessárias muitas ações que retirem a lignina da massa, como na celulose natural. Outra característica consiste no fato desse processo, muitas vezes, não buscar transformar o papel reciclado em papel branco, diminuindo seu processo de branqueamento.

Destaca-se a importância da aplicação dos conceitos da EC nos processos de produção, uma vez que minimiza efeitos adversos do descarte de materiais, reintroduzindo os mesmos no sistema como subprodutos ou produtos reciclados, que podem ter características muito semelhantes aos produtos oriundos dos ciclos naturais. Nesse sentido, foi escolhida a celulose pós consumo, ou reciclada, como terceira etapa da ACV da celulose para ser utilizada como *biochar* para a remoção da amoxicilina em escala experimental. A ACV do papel está apresentada no Apêndice A.

4.2 Preparação e desenvolvimento do *biochar*

O processo de preparação das amostras começou com o levantamento da capacidade térmica do forno, uma vez que se faz necessário identificar a área útil em que as amostras não sofrem variação de aquecimento, ou seja, em que as temperaturas se mantenham uniformes.

O mapeamento do forno para identificar a melhor região para o posicionamento das amostras de *biochar* é importante devido ao fato de a temperatura ser

determinante na formação dos microporos do material adsorvente, onde se potencializa a retenção dos poluentes.

O forno foi montado e monitorado por meio de termopares, na busca por mapear a variação do perfil de aquecimento, conforme apresentado na Figura 53.

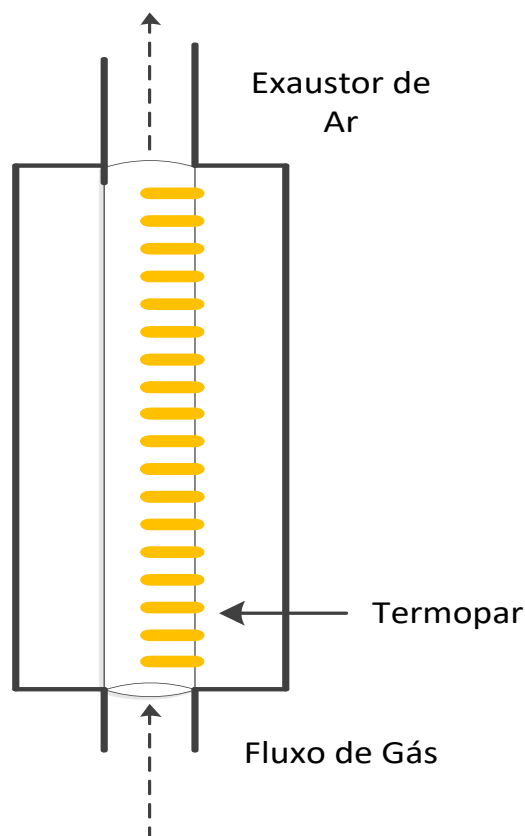


Figura 53 – Montagem do controle de aquecimento do forno elétrico.

A partir do posicionamento dos termopares a cada 5,0 cm, durante toda a extensão do forno, foi possível definir qual a região ideal para o posicionamento do material a ser ativado. Foram escolhidas temperaturas de 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C e 960 °C (limite de aquecimento do forno), conforme apresentado na Figura 54.

As variações das temperaturas no forno seguiram uma tendência com relação a sua disposição e apresentaram um mesmo comportamento, estabilizado perto da temperatura de controle no centro do forno, e diminuindo gradativamente próximo as suas extremidades. Assim, a melhor região observada para a distribuição das amostras ficou fixada na faixa central do forno, onde foi estabelecido como ponto central a medida de 50,0 cm somada a um desvio padrão de $\pm 10,0$ cm, ou seja, entre 40,0 cm e 60,0 cm.

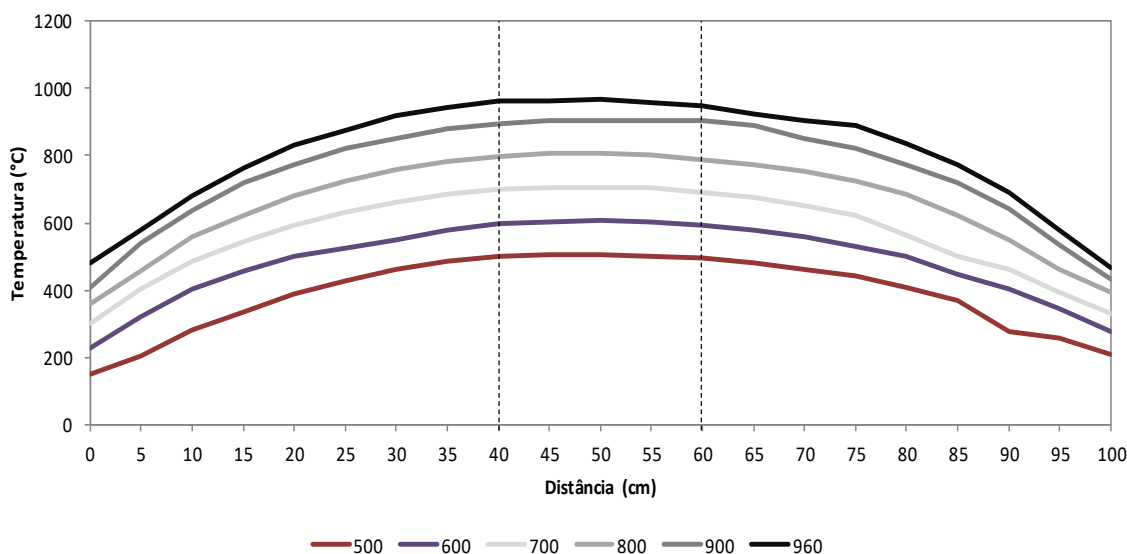


Figura 54 – Mapeamento das curvas de aquecimento do forno correlacionando a temperatura com o comprimento.

Após a estabilização do sistema na temperatura desejada, a variação do aquecimento se mostrou praticamente inexistente durante o processo, apresentando uma pequena variação no início do aquecimento, devido a inércia térmica do forno. A partir da viabilidade experimental do processo de carbonização e ativação das amostras, iniciou-se a etapa de caracterização das matérias primas.

4.2.1 Caracterização das Matérias Primas

4.2.1.1 Análise de Termogravimetria da Celulose

Para avaliar o comportamento de degradação da celulose natural, foram realizados testes em diferentes taxas de aquecimento para averiguar a interferência dessa variável no processo de aquecimento.

As Figura 55 e Figura 56 mostram as curvas de degradação das amostras de celulose (FCA). A Figura 56 apresenta a curva derivada da degradação da celulose, ou seja, corresponde à variação da massa em função da temperatura, e permite identificar eventos térmicos importantes ao longo da análise, como, por exemplo, temperatura de máxima degradação (pico da curva derivada de degradação da celulose).

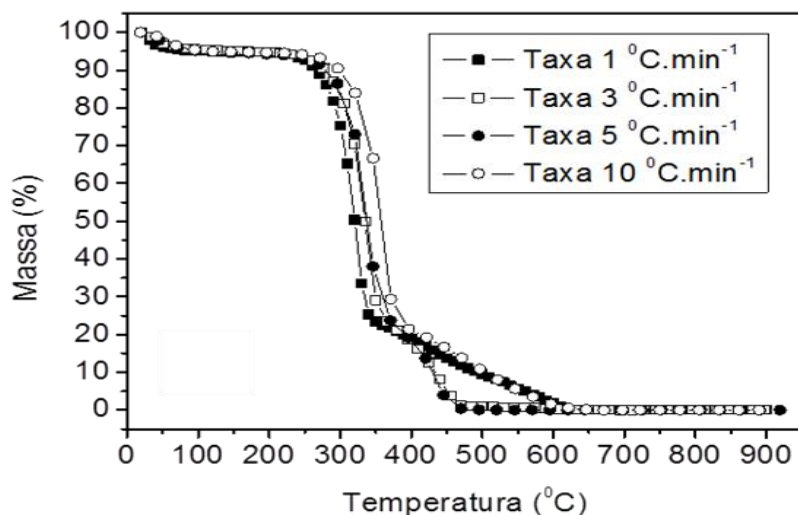


Figura 55. Curva de degradação da celulose.

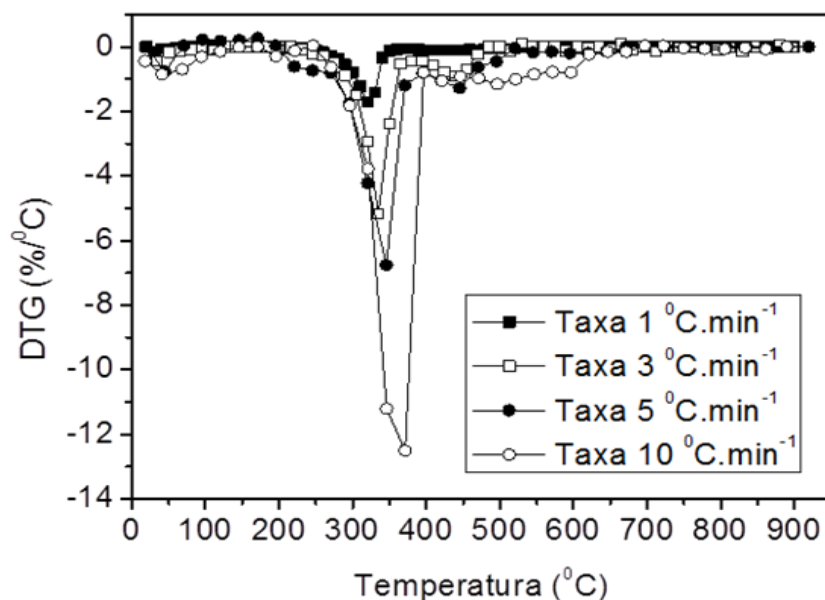


Figura 56. Curva derivada de degradação da celulose.

Observa-se que, independente da taxa empregada, as curvas apresentam comportamento semelhante. Nota-se um pico acentuado de perda de massa próximo de 350 °C, não apresentando variações significativas. A massa residual, que representa o rendimento em massa, apresentado em todos os ensaios é próxima de 0,0 %, quando a temperatura atinge 900 °C, o que mostra degradação completa da amostra.

A curva derivada de degradação apresenta dois picos, sendo o primeiro em torno de 100 °C, que caracteriza a perda de umidade da matéria prima (~10 %) e o segundo pico, próximo a temperatura de 300 °C, que corresponde à temperatura

em que ocorre a maior degradação térmica da FCA. O fim da degradação térmica ocorre em temperaturas superiores a 400 °C.

Nesse sentido, constata-se a região onde ocorre a degradação dos componentes da celulose, bem como sua estabilidade térmica e a ausência de produtos intermediários e resíduos o que está condizente com estudos que afirmaram que a adsorção por meio da celulose é mais eficiente em temperaturas mais baixas de carbonização (GONZÁLEZ *et al.*, 2009; UCHIMIYA *et al.*, 2011; BOLAN *et al.*, 2013).

4.2.1.2 Análise Imediata

As amostras de celulose natural, branqueada e reciclada foram submetidas ao ensaio de análise imediata em base seca de acordo com a norma ABNT (NBR 8112, 1986), para obtenção dos valores de umidade, voláteis, cinzas e de carbono fixo presentes no material. A Tabela 21 apresenta os valores calculados a partir das massas de amostra de cada etapa.

Tabela 21. Valores calculados da análise imediata em base seca para umidade, voláteis, teor de cinzas e carbono fixo.

Amostra	Umidade (%)	Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Carbono fixo (%)
FCA – NI	1,90	76,38	4,50	19,12
FCA – NII	1,86	76,89	3,74	19,37
FCA – NIII	1,75	76,29	4,26	19,45
Média	1,84 ± 0,80	76,52 ± 0,32	4,17 ± 0,39	19,31 ± 0,17
FCA – BI	1,60	77,32	4,36	18,32
FCA – BII	1,58	77,71	4,12	18,17
FCA – BIII	1,65	77,35	3,95	18,70
Média	1,61 ± 0,04	77,46 ± 0,22	4,14 ± 0,21	18,40 ± 0,27
FCA – RI	1,31	78,31	3,45	18,24
FCA – RII	1,41	78,06	3,58	18,36
FCA – RIII	1,26	78,06	3,23	18,71
Média	1,32 ± 0,07	78,14 ± 0,14	3,42 ± 0,18	18,44 ± 0,24

Observa-se que os valores de umidade da celulose natural estão em torno de 1,84 ± 0,8 %, da celulose branqueada em patamares de 1,61 ± 0,04 % e a reciclada próximos de 1,32 ± 0,07 %. Nota-se que os valores de umidade são

baixos, o que indica um material com pouca retenção de água; além disso, constata-se que a celulose natural apresenta maiores valores de umidade. Essa característica advém do seu processamento, uma vez que não passa pelo processo de prensagem e secagem mecânica durante a sua preparação, etapas que foram utilizadas nos processos da celulose branqueada e reciclada.

Referente aos valores de voláteis, verifica-se que os valores da celulose natural são próximos $76,52 \pm 0,32$ %, para a celulose branqueada obteve-se valores em torno de $77,46 \pm 0,22$ % e a reciclada na faixa de $78,14 \pm 0,14$ %. Observa-se que a celulose natural apresenta porcentagem inferior de material volátil seguido da celulose branqueada e reciclada.

Esse fator é oriundo dos constituintes da matéria prima, uma vez que a celulose natural não contém tratamento químico ou subprodutos em sua constituição. As demais amostras passam por tratamento químico, além da inserção de outros materiais que influenciam na presença de material volátil.

Para os cálculos de teor de cinzas, obteve-se valores próximos de $4,17 \pm 0,39$ % para a celulose natural, $4,14 \pm 0,21$ % para a celulose branqueada e $3,42 \pm 0,18$ % para a celulose reciclada.

Os valores de carbono fixo estão na faixa de $19,31 \pm 0,17$ % para a celulose natural, $18,40 \pm 0,27$ % para a celulose branqueada e $18,44 \pm 0,24$ % para a celulose reciclada. Dentre os valores obtidos, verifica-se que o maior é o da celulose natural que indica que o material possui superfície com carbonos estruturados e estáveis que favorecem o desenvolvimento de estrutura porosa no material, quando submetido ao processo de ativação.

4.2.1.3 Densidade Real

A amostra de celulose foi submetida ao ensaio de picnometria em gás hélio; a massa da amostra foi de 1,356 g. Após os tempos de purga, a média de 5 medições para o volume da celulose original foi de $0,856 \text{ cm}^3$. Por fim, foi medido o valor da massa específica de $0,521 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo a base para padronização das amostras para o processo de carbonização e ativação.

4.2.2 Caracterização do biochar

4.2.2.1 Rendimento em massa

O rendimento em massa no processo de degradação térmica que envolve a preparação do *biochar*, foi calculado a partir das massas inicial e final das amostras preparadas, conforme apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 - Rendimento em massa das amostras de biochar.

Amostra	Temp. (°C)	Hora (h)	Identificação	Rendimento (%)
		1	FCA – N1	26,43
N	600	2	FCA – N2	20,65
A		3	FCA – N3	16,36
T		1	FCA – N4	20,65
U	700	2	FCA – N5	16,36
R		3	FCA – N6	N/A
A		1	FCA – N7	14,76
L	800	2	FCA – N8	5,14
		3	FCA – N9	N/A
B				
R		1	FCA – B1	19,32
A	600	2	FCA – B2	19,96
N		3	FCA – B3	18,40
Q		1	FCA – B4	17,66
U	700	2	FCA – B5	19,00
E		3	FCA – B6	18,03
A	800	1	FCA – B7	17,60
D		2	FCA – B8	16,79
A		3	FCA – B9	15,52
R		1	FCA – R1	32,96
E	600	2	FCA – R2	31,37
C		3	FCA – R3	30,90
I		1	FCA – R4	32,23
C	700	2	FCA – R5	28,88
L		3	FCA – R6	N/A
A		1	FCA – R7	24,32
D	800	2	FCA – R8	17,27
A		3	FCA – R9	N/A

O rendimento em massa encontrado nas amostras preparadas variou entre 15 % e 30 %, o que está de acordo com a literatura estudada para os materiais de origem vegetal. Os estudos de caracterização de *biochar* permitem definir o processo de pirólise como rápido, de acordo com os dados apresentados por Wei *et al.* (2006) e DeSisto *et al.* (2010), que apresentam valores de rendimento

do material entre 10 % e 20 % em massa adotando variações específicas de temperatura e tempo de isoterma de acordo com os rendimentos encontrados por Mohan, Pittman e Steele (2006), Brow *et al.* (2009), e Sohi *et al.* (2009) e Bolan *et al.* (2013).

Observa-se que as amostras preparadas com celulose reciclada apresentaram maiores valores de rendimento em todas as temperaturas de ativação empregadas, com patamares entre 25 % e 30 % na isoterma de menor duração, fator condizente com os estudos desenvolvidos por Gonzalez *et al.* (2009).

Referente às amostras submetidas a temperatura de 600 °C, observa-se que os *biochars* preparados com celulose natural apresentaram o segundo maior valor de rendimento, tanto na isoterma de 1 h como na isoterma com 2 h de ativação.

Analisando os resultados das amostras preparadas em 800 °C, observa-se que o rendimento decresce conforme as isotermas de ativação tem maior duração, sendo a amostra FCA – R7, submetida à isoterma com duração de 1 h, a que apresentou maior valor de rendimento, com valor de 24,32 %.

Referente as condições estudadas, verifica-se que as amostras com duração de 2 h não são as que apresentaram melhores valores de rendimento nas temperaturas de 600 °C e 700 °C, com valor intermediário na temperatura de 800 °C. Dentre as matérias primas estudadas, verifica-se que os maiores valores de rendimento foram obtidos com a celulose reciclada, seguido da celulose branqueada e da celulose natural (com exceção das amostras FCA – N2 e FCA – N4).

Os valores encontrados para rendimento de massa estão em acordo com a literatura, sendo a isoterma de ativação uma variável a ser considerada na preparação das amostras, uma vez que alguns estudos apresentaram rendimentos superiores a 20 %, variando até 40 % em massa (ANTAL *et al.*, 2000; GONZALEZ *et al.*, 2009; UCHIMYIA *et al.*, 2011), e com valores em torno de 35 % de rendimento, mas com a isoterma variando entre 5 e 30 minutos (MOHAN; PITTMAN e STEELE, 2006; BROW *et al.*, 2009; SOHI *et al.*, 2009; BOLAN *et al.*, 2013).

4.2.2.2 Caracterização – Isotermas de Adsorção/Dessorção

A Figura 57 apresenta as isotermas de adsorção/dessorção das amostras submetidas à temperatura de ativação de 700 °C nas isotermas de 1 hora, 2 horas e 3 horas, respectivamente.

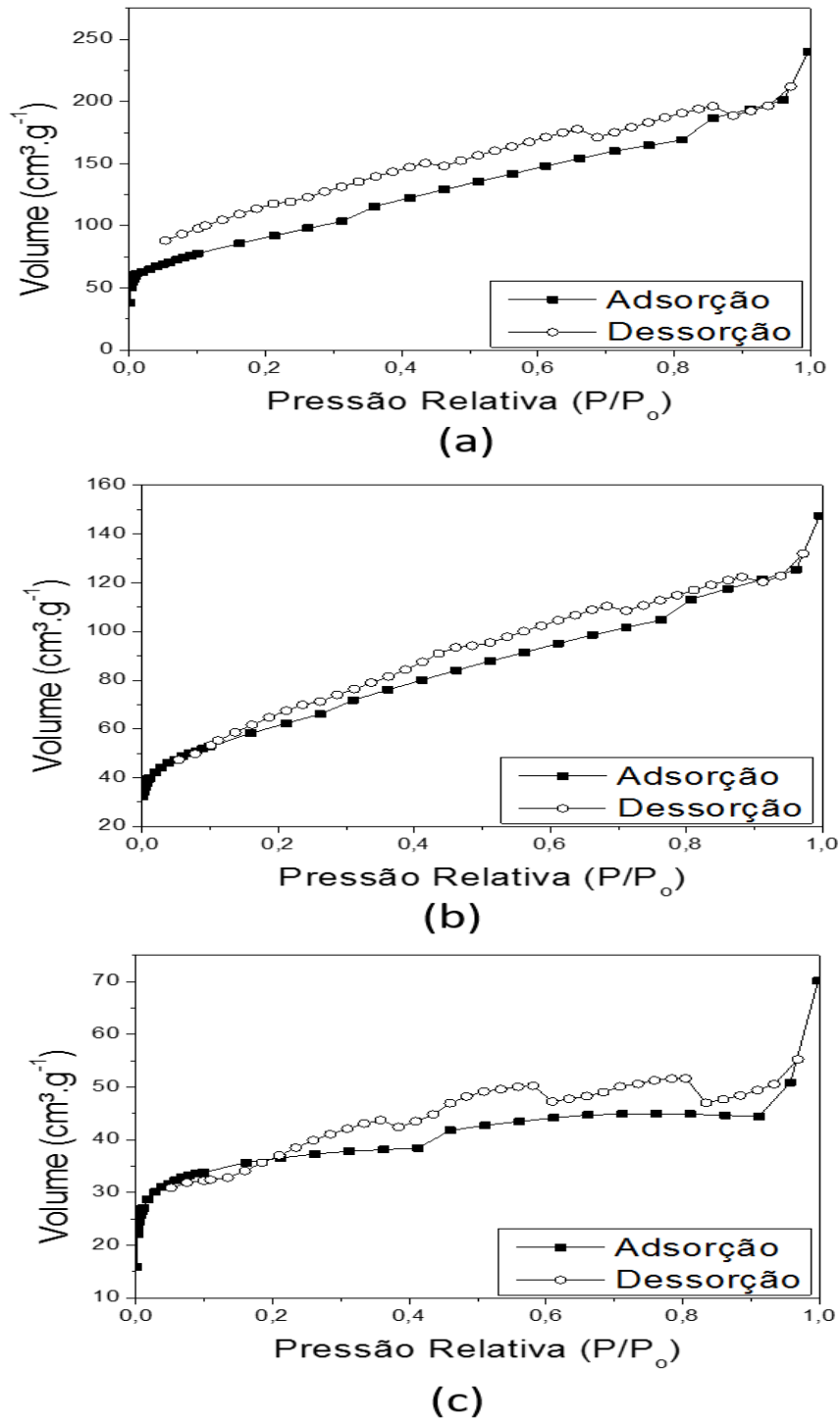
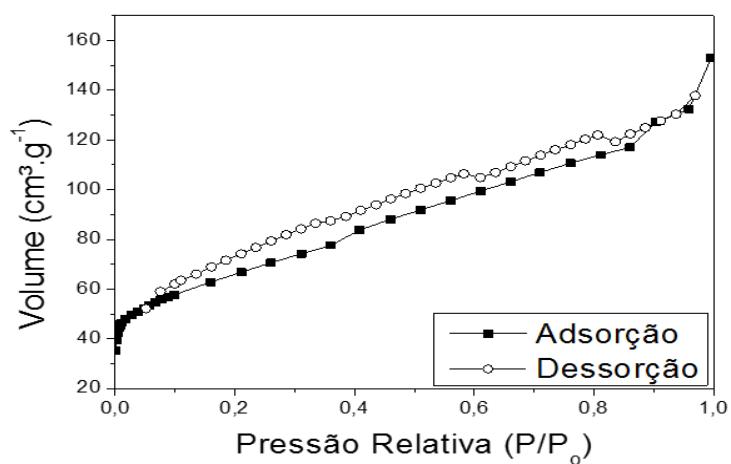
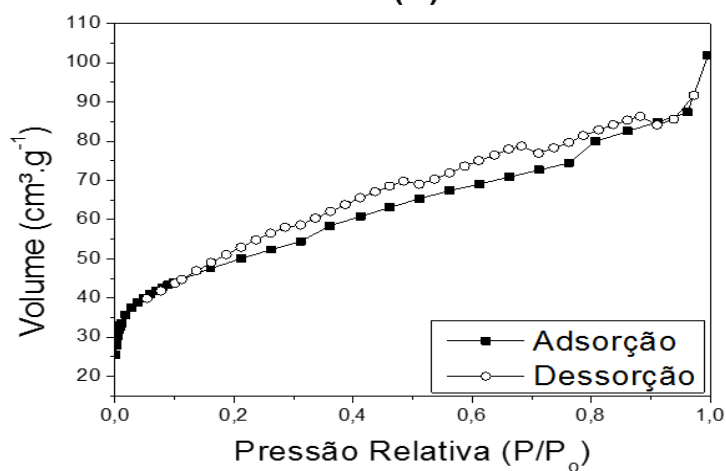


Figura 57 - Isotermas de adsorção/dessorção das amostras submetidas à temperatura de ativação de 700 °C: (a) FCA – B4, (b) FCA – B5 e (c) FCA – B6.

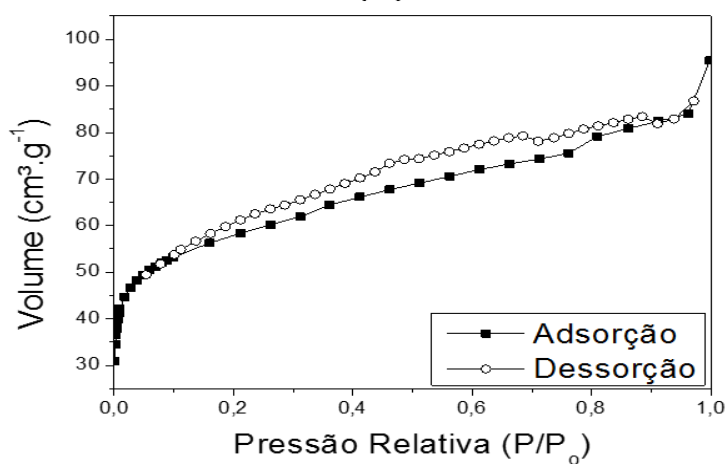
A Figura 58 apresenta as isotermas de adsorção/dessorção das amostras submetidas à temperatura de ativação de 800 °C nas isotermas de 1 hora, 2 horas e 3 horas, respectivamente.



(a)



(b)



(c)

Figura 58 - Isotermas de adsorção/dessorção das amostras submetidas à temperatura de ativação de 800 °C: (a) FCA – B7, (b) FCA – B8 e (c) FCA – B9.

Segundo Smísek e Cerny (1970) e a IUPAC (1985) as curvas apresentam comportamento típico de isoterma *tipo I*, caracterizada pela existência de uma curva que se inicia em pressões relativamente baixas, específicas do mecanismo de adsorção de sólidos microporosos. O patamar correspondente ao preenchimento completo dos microporos é proporcional ao seu volume.

A presença de histerese é verificada em todos os *biochar* preparados, fenômeno que se associa com diferentes pressões de saturação na condensação do vapor e na evaporação do líquido no interior dos poros, que é resultante da geometria dos poros da amostra.

Segundo a IUPAC (1985), as histereses apresentadas classificam-se como do tipo 4, uma vez que a dessorção é praticamente paralela ao eixo de pressões relativas, onde ocorre a adsorção em multicamadas. Dessa forma, constata-se que os materiais contêm estruturas porosas desde microporos até mesoporos, com formatos que se assemelham aos do tipo fenda e cilíndrico.

A partir das isotermas de adsorção/dessorção, obtiveram-se os valores médios de volume de poros (V_p), diâmetro médio (d_m), volume de microporos (V_{micro}), área de microporos (A_{micro}), área superficial específica (ASE) e a fração de microporos (%) das amostras submetidas a diferentes temperaturas de ativação, os quais são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Parâmetros da estrutura porosa dos biochar preparados.

Identificação	V_p ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	d_m (nm)	V_{micro} ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	A_{micro} ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	ASE ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	Fração de microporos (%)
FCA – B1	0,3050	3,47	0,0455	70,24	270,55	14,92
FCA – B2	0,1821	3,23	0,0461	82,09	191,45	25,32
FCA – B3	0,1196	2,85	0,0579	128,40	172,85	48,41
FCA – B4	0,3727	4,74	0,0471	65,30	314,30	12,64
FCA – B5	0,2286	4,25	0,0435	75,50	215,10	19,03
FCA – B6	0,1088	3,23	0,0433	99,60	134,90	39,80
FCA – B7	0,2372	2,20	0,0438	75,18	226,80	18,47
FCA – B8	0,1355	2,20	0,0487	88,67	167,80	35,94
FCA – B9	0,1303	2,47	0,0724	157,20	210,80	55,56

Para os *biochar* preparados, de um modo geral, observa-se que as amostras submetidas a maiores tempos de isoterma na temperatura de ativação (FCA – B3, FCA – B6 e FCA – B9), proporcionaram o aumento da fração de

microporos aliada a temperatura de ativação empregada. Dessa forma, observa-se que quando o material é submetido a maiores tempos de isoterma na temperatura de ativação, ocorre maior interação entre os carbonos amorfos e a atmosfera ativante, o que resulta no maior desenvolvimento de estrutura microporosa na superfície do *biochar*.

Referente ao volume total de poros (V_p), observa-se que o tempo de isoterma contribui para sua redução em todas as temperaturas de ativação empregadas nas isotermas com duração de 1 h e 3 h, respectivamente. Verifica-se que os materiais produzidos na isoterma de 1 h (FCA – B1, FCA – B4 e FCA – B7) apresentaram maiores valores de ASE, mas com menor desenvolvimento de microporos.

Para os materiais submetidos à temperatura de ativação de 600 °C, constata-se que a ASE reduz ao passo em que se aumenta o tempo da isoterma, apresentando uma variação também no diâmetro dos poros a partir desse aumento. A amostra FCA – B3 apresentou volume e área consideravelmente maiores com relação aos microporos e sua fração, apresentando um valor de 48,41 %.

Para os materiais submetidos à temperatura de ativação de 700 °C, constata-se que o volume de poros reduz com o aumento das isotermas na temperatura citada, variando na ordem de 0,1 cm³.g⁻¹. Verifica-se ainda uma variação referente ao diâmetro médio dos poros na amostra FCA – B6, quando comparada às amostras FCA – B4 e FCA – B5, indicando que as amostras com maiores volumes de poros possuem em sua estrutura meso e macroporos, o que justifica os baixos valores de fração de microporos apresentados pelas mesmas. É possível observar que a amostra FCA – B6 apresentou maior área de microporos com valor de 39,80 %.

Referente aos materiais preparados na temperatura de ativação de 800 °C, é possível observar que o diâmetro médio dos poros se manteve na ordem de 2,3 nm, não demonstrando variação significativa no tamanho modal dos poros desenvolvidos independente do tempo da isoterma empregada. Referente ao V_{micro} , verifica-se que a amostra FCA – B9 (submetida a isoterma de 3 h) foi a que apresentou maior volume de desenvolvimento de microporosidade com valor de 0,0724 cm³.g⁻¹. Esse fator contribui também para que a área de

microporos presente maiores valores, o qual pode ser constatado por meio do valor de $157,2 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, correspondendo a um percentual de 55,56 % da área total do material.

4.2.2.3 Ensaio de Remoção da Amoxicilina nas FCA – Naturais

Os ensaios de remoção da amoxicilina mapearam a capacidade do material em adsorver o poluente dissolvido em água, sendo realizados em triplicatas e apresentadas as médias desses ensaios. A Figura 59 apresenta o percentual de remoção da amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas à temperatura de ativação de $600 \text{ }^\circ\text{C}$.

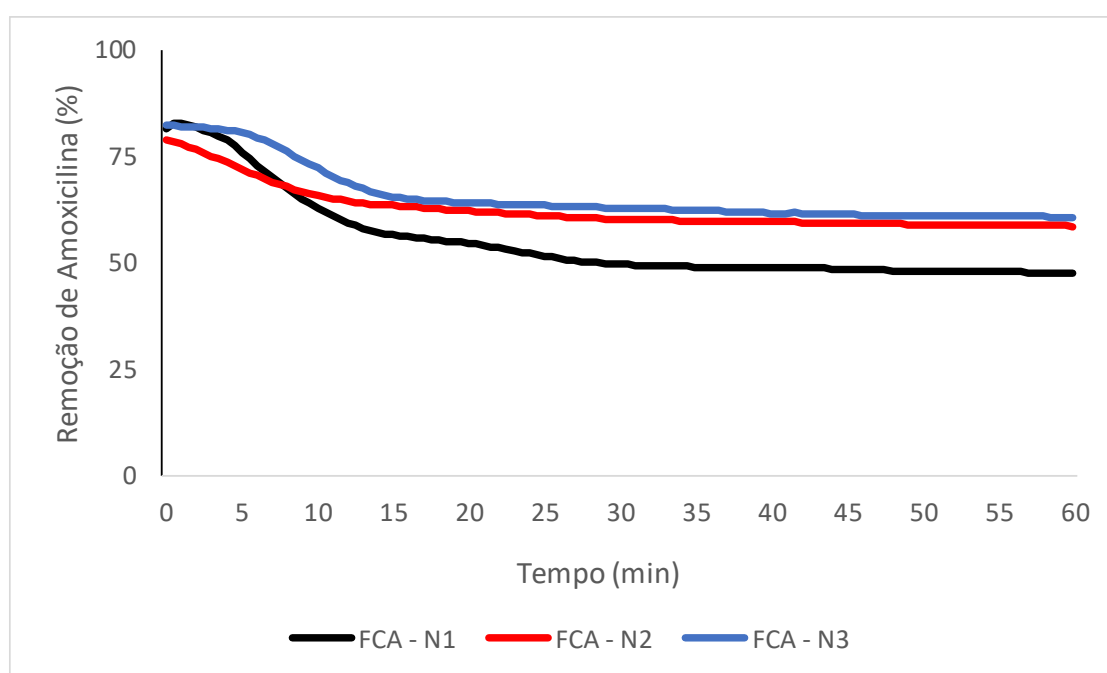


Figura 59 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de $600 \text{ }^\circ\text{C}$: FCA – N1, FCA – N2 e FCA – N3.

As amostras de celulose natural preparadas na temperatura de $600 \text{ }^\circ\text{C}$, atingiram a saturação completa do carvão próximo dos 30 minutos, contendo entre 45 % e 60 % de toda a amoxicilina retida na amostra. Verifica-se que as amostras preparadas na isoterma de 1 h (FCA – N1) apresentaram o melhor rendimento com relação a remoção do poluente, reduzindo mais que 50 % do poluente em solução. As isotermas de 2 h (FCA – N2) e 3 h (FCA – N3) apresentaram eficiência parecida na remoção do poluente, entretanto, com picos de remoção em tempos diferentes, ocasionado provavelmente pela característica de preparo do material.

De uma maneira geral, as amostras removeram a amoxicilina até a saturação do leito, apresentando características de poros que contribuem com o processo de adsorção.

A Figura 60 apresenta o percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas à temperatura de 700 °C, sob as isotermas de 1 h e 2 h, respectivamente.

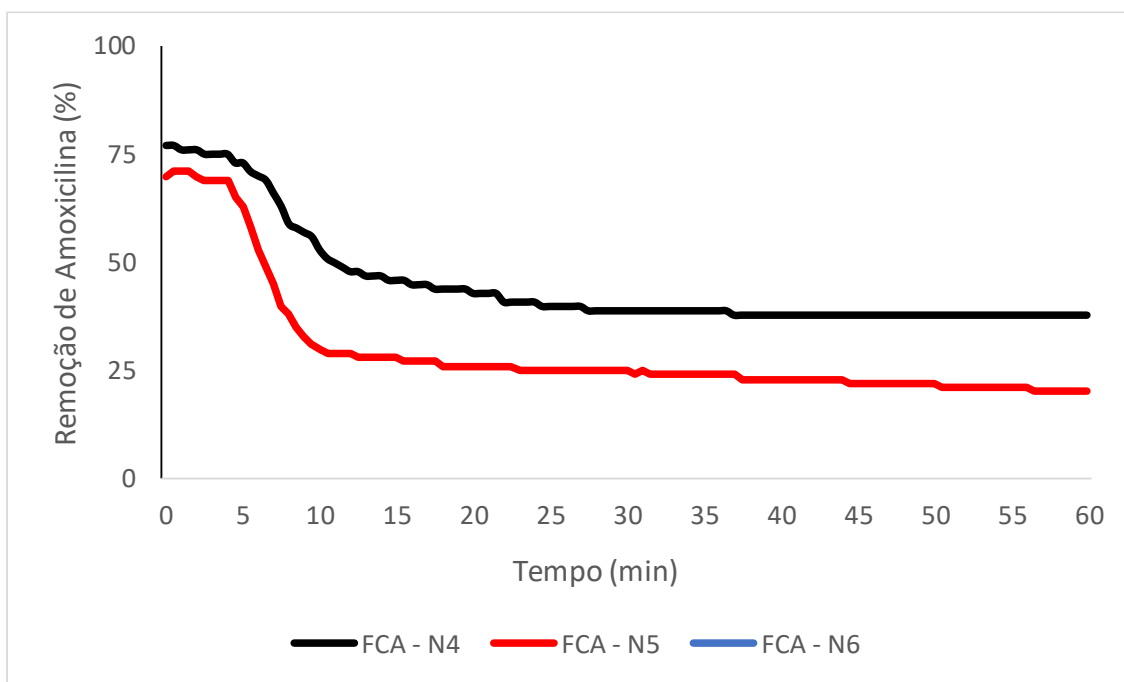


Figura 60 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de 700 °C: FCA – N4, FCA – N5 e FCA – N6.

As amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de 1 h e 2 h apresentaram os melhores resultados de adsorção do poluente, mostrando que essas condições de carbonização e ativação se mostraram mais eficientes na remoção da amoxicilina.

A amostra FCA – N5 apresentou frente de adsorção bem definida, removendo cerca de 30 % da amoxicilina nos primeiros minutos e com eficiência de remoção de 78 % até o tempo de 60 minutos, o que evidencia como um material eficiente para ensaios de adsorção da amoxicilina. A amostra FCA – N4 saturou o leito com uma remoção de cerca de 53 % do poluente, entretanto, também se mostrando como um material eficiente para a adsorção da amoxicilina.

A amostra preparada na isoterma de 3 h (FCA – N6) teve a maior parte de sua estrutura carbonizada, não apresentando estrutura porosa característica para a

remoção do poluente. Isso pode ter acontecido devido ao tempo da isoterma ser maior que as demais amostras, carbonizando sua massa e inviabilizando o processo de remoção da amoxicilina.

A Figura 61 apresenta o comportamento de adsorção da amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas à temperatura de ativação de 800 °C.

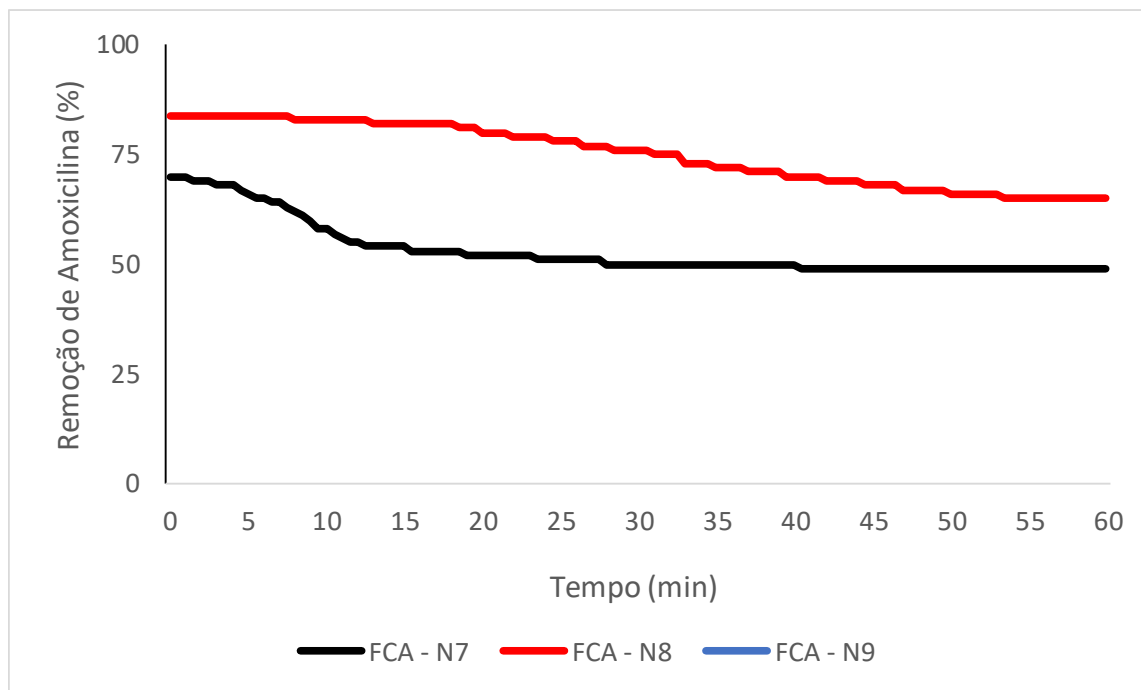


Figura 61 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose natural submetidas a temperatura de ativação de 800 °C: FCA – N7, FCA – N8 e FCA – N9.

As amostras de celulose natural submetidas as temperaturas de 800 °C não apresentaram percentuais de remoção da amoxicilina, quando comparadas com as outras amostras analisadas. A amostra FCA – N7 apresentou o melhor resultado de remoção, com cerca de 30 % de remoção nos primeiros minutos, saturando o leito por volta de 15 minutos, o que demonstra potencial de remoção do poluente e a eficiência de remoção do material.

Entretanto, com relação a amostra FCA – N8, a saturação do leito aconteceu perto dos 50 minutos de ensaio, com um percentual de remoção próximo dos 25 %, o que demonstra que o material adsorveu a amoxicilina, mas com grande volume sendo adsorvido nos primeiros minutos. Com relação a amostra FCN – N9, não foi possível realizar o procedimento de adsorção devido ao fato das amostras não terem saído no formato de disco do processo de ativação, devido

ao tempo da isoterma a essa temperatura, seguindo uma tendência do que aconteceu com a amostra FCA – N6.

De modo geral, nos 3 gráficos a maior taxa de adsorção da amoxicilina ocorreu nos primeiros 15 minutos de ensaio, devido ao fato do adsorbato apresentar bons sítios ativos para a remoção do poluente, sendo saturadas suas camadas no decorrer do ensaio.

4.2.2.4 Ensaios de Remoção da Amoxicilina nas FCA – Branqueadas

Os ensaios de remoção da amoxicilina mapearam a capacidade do material em adsorver o poluente dissolvido em água, sendo realizados em triplicatas e apresentadas as médias desses ensaios. A Figura 62 apresenta o percentual de remoção da amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas à temperatura de ativação de 600 °C.

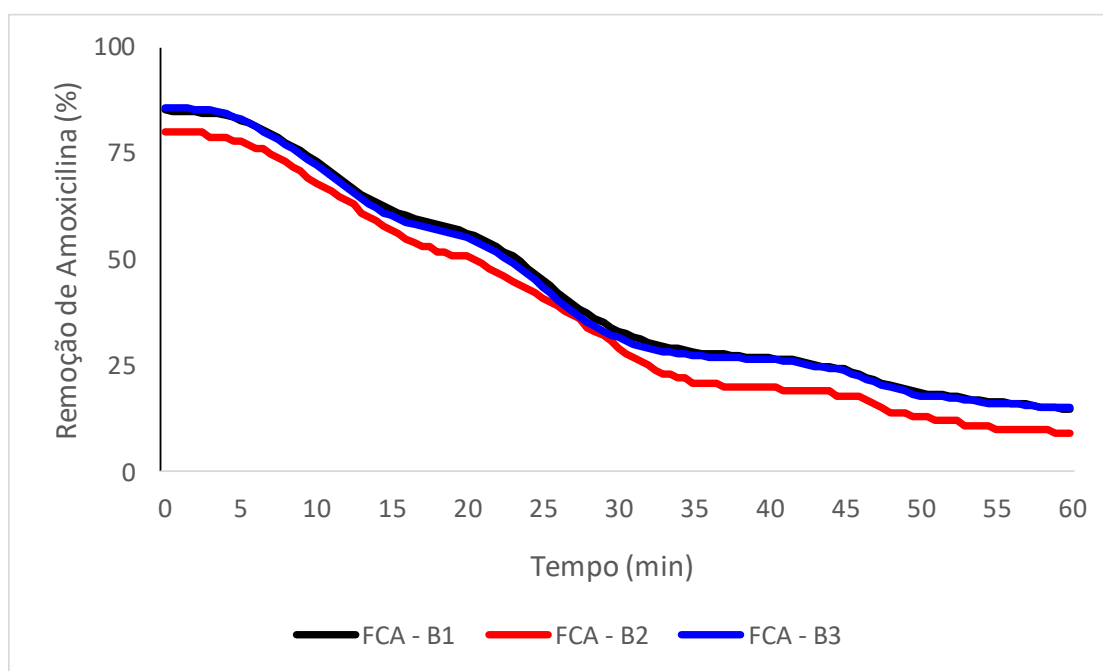


Figura 62 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas a temperatura de ativação de 600 °C: FCA – B1, FCA – B2 e FCA – B3.

Observa-se que as amostras preparadas na temperatura de 600 °C, atingiram a saturação completa do carvão próximo dos 60 minutos, contendo entre 85 % e 90 % de amoxicilina. Verifica-se que as amostras preparadas nas isotermas de 1 h (FAC – B1) e 3 h (FCA – B3) apresentaram redução inicial de 15 % da concentração de amoxicilina com frente de adsorção bem definida nos primeiros

5 minutos de processo. Além disso, constatou-se que as amostras apresentaram comportamento semelhante ao longo da etapa de adsorção com saturação completa do leito.

A amostra preparada em isoterma de 2 h (FCA – B2), apresentou um comportamento semelhante as outras duas amostras, entretanto, com remoção de 20 % da concentração inicial de amoxicilina logo no início do processo de adsorção, com remoção de 70 % do fármaco próximo dos 30 min, sendo um ponto de equilíbrio entre as amostras, que passaram a apresentar uma eficiência de remoção na mesma proporção a partir deste ponto. Esses valores indicam que a amostra apresenta superfície desenvolvida propícia para a remoção da amoxicilina, se desenvolvendo um pouco mais que as demais.

A Figura 63 apresenta o percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas à temperatura de 700 °C, sob as isotermas de 1 h, 2 h e 3 h, respectivamente.

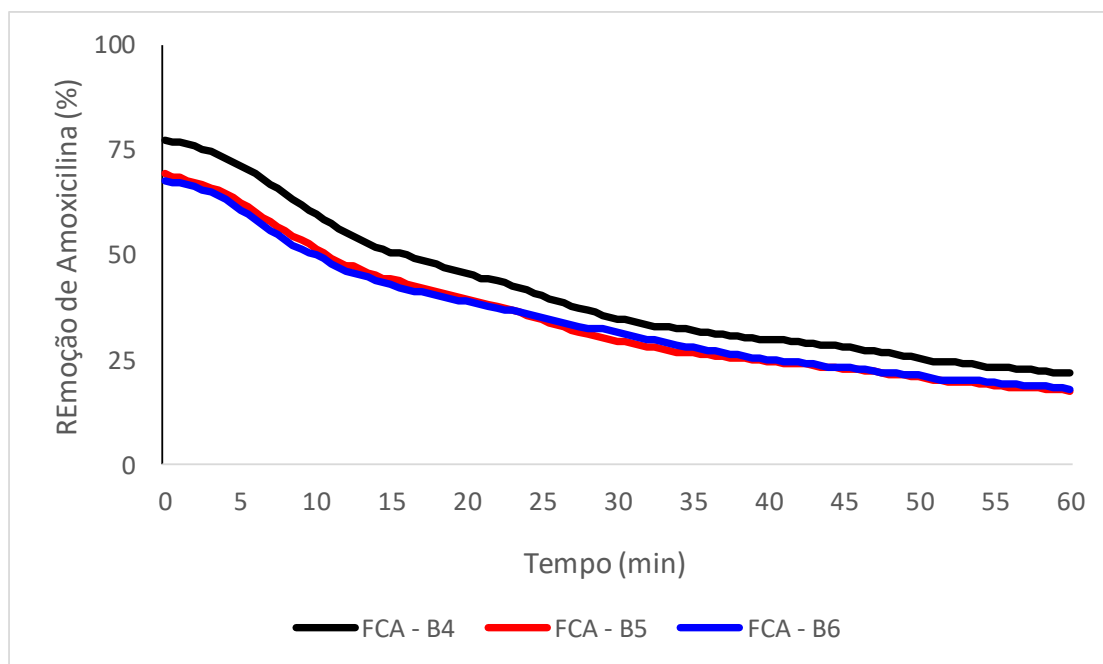


Figura 63 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas a temperatura de ativação de 700 °C: FCA – B4, FCA – B5 e FCA – B6.

Para as amostras preparadas a 700 °C, observa-se que todas apresentaram presença de, aproximadamente, de 23 % a 30 % da amoxicilina retida no início do processo de adsorção, com frente de adsorção bem definida nos primeiros

5 min. Além disso, constata-se que o tempo de saturação do leito permaneceu o mesmo para as diferentes isotermas empregadas.

No entanto, os maiores índices de remoção foram das amostras submetidas as isotermas de 2 h (FCA – B5) e 3 h (FCA – B6) que chegaram a adsorver cerca de 82 % da amoxicilina contida na solução.

A Figura 64 apresenta o comportamento de adsorção da amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas à temperatura de ativação de 800 °C.

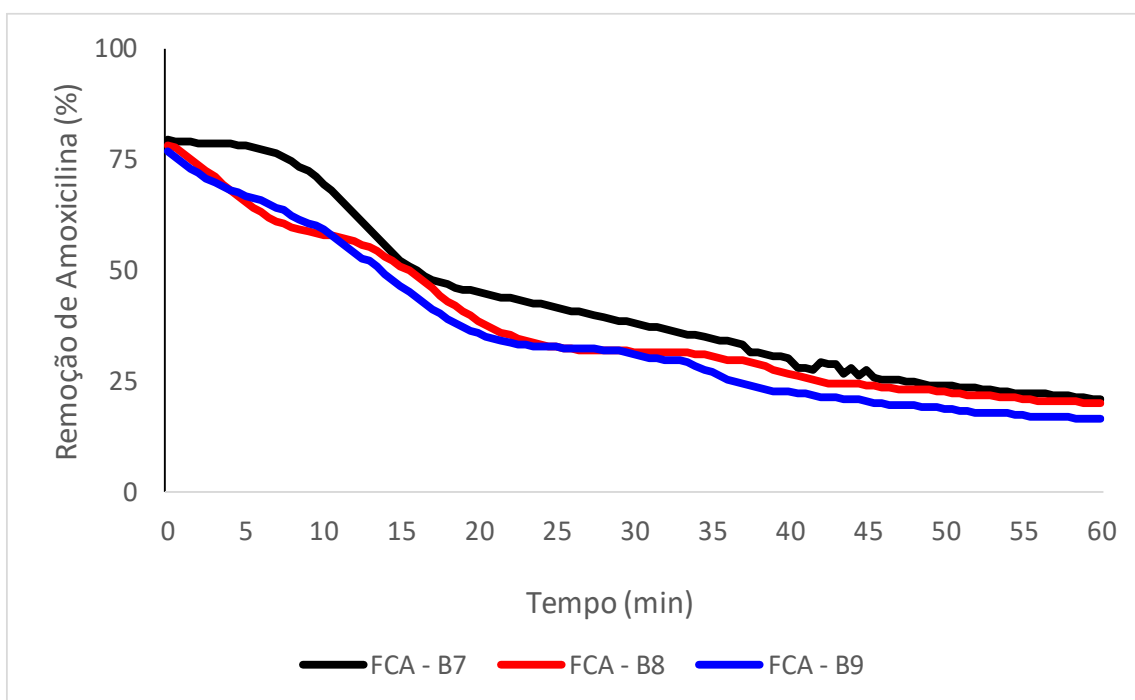


Figura 64 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose branqueada submetidas a temperatura de ativação de 800 °C: FCA – B7, FCA – B8 e FCA – B9.

Observa-se que todas as amostras apresentaram remoção inicial de amoxicilina próxima de 20 %, atingindo saturação completa ao final dos 60 minutos com remoção entre 79 % e 84 % do poluente.

Analisando-se os valores obtidos em cada uma das situações, nota-se que com o aumento da duração da isoterma, as amostras apresentaram menores tempos de saturação, indicando que a área superficial específica do material adsorvente possui maior disponibilidade de remoção da amoxicilina.

4.2.2.5 Ensaios de Remoção da Amoxicilina nas FCA – Recicladas

A Figura 65 apresenta o percentual de remoção da amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas à temperatura de ativação de 600 °C.

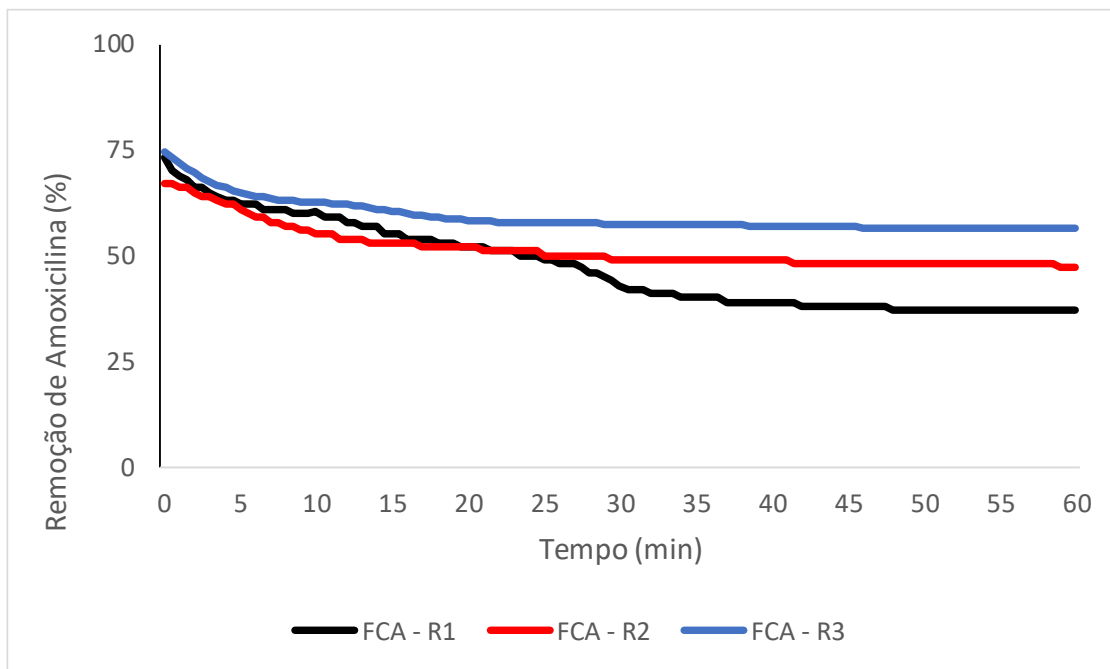


Figura 65 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas a temperatura de ativação de 600 °C: FCA – R1, FCA – R2 e FCA – R3.

As amostras de celulose natural reciclada submetidas as isotermas de 1 h, 2 h e 3 horas apresentaram comportamentos parecidos de adsorção, demonstrando eficiência na remoção da amoxicilina. A amostra preparada com 1 h de isoterma (FCA – R1) apresentou a maior eficiência de adsorção, quando comparada com as demais, saturando o leito com aproximadamente 65 % do poluente adsorvido no material próximo dos 35 minutos de ensaio.

As amostras preparadas com 2 h (FCA – R2) e 3 h (FCA – R3) de isoterma apresentaram comportamentos semelhantes, variando sua eficiência na adsorção da amoxicilina, removendo cerca de 47 % e 55 % do poluente respectivamente, saturando o leito em ambos os casos perto dos 35 minutos de ensaio.

A Figura 66 apresenta o percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas à temperatura de 700 °C, sob as isotermas de 1 h, 2 h e 3 h, respectivamente.

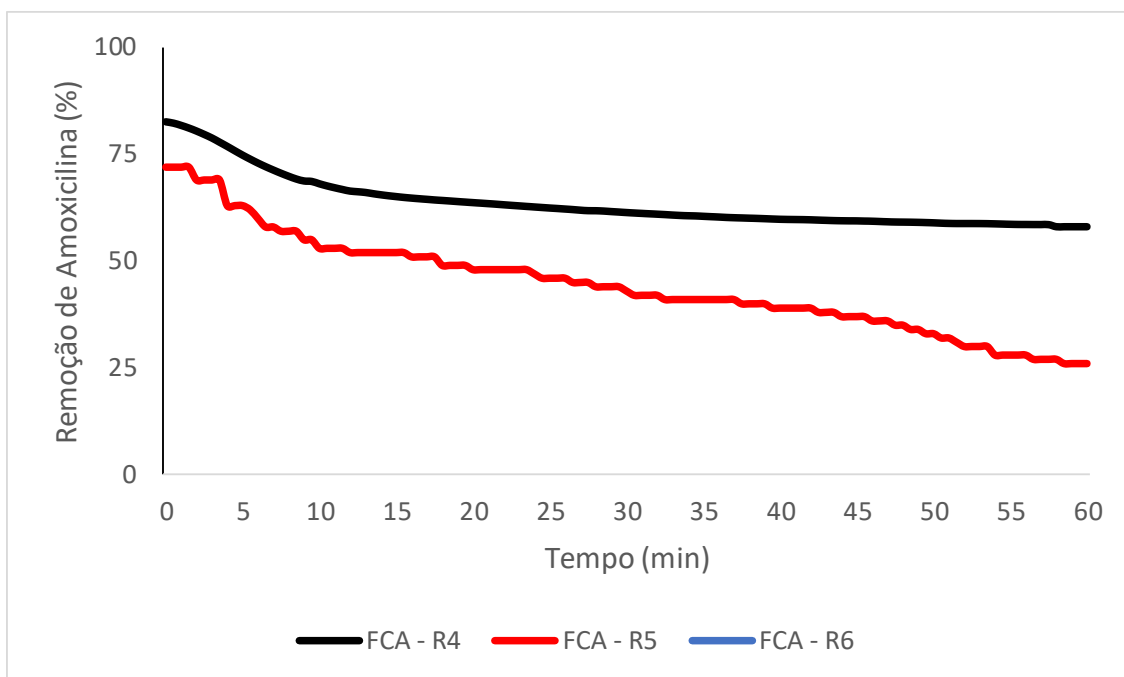


Figura 66 – Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas a temperatura de ativação de 700 °C: FCA – R4, FCA – R5 e FCA – R6.

Para as amostras preparadas a 700 °C, observa-se que a amostra preparada na isoterma de 2 h apresentou o melhor resultado de adsorção quando comparada com as outras amostras recicladas preparadas. A amostra FCA – R5 apresentou presença de, aproximadamente, 50 % da amoxicilina retida no início do processo de adsorção, com frente de adsorção bem definida nos primeiros 15 min.

Com relação a amostra FCA – R4, preparada com isoterma de 1 h, cerca de 25 % da amoxicilina foi retida no início do processo, com frente de adsorção bem definida nos primeiros 5 minutos, entretanto, o leito foi praticamente saturado, apresentando como resultado final cerca de 42 % de amoxicilina retida pelo material.

A amostra FCA – R6, preparada a isoterma de 3 h, não apresentou material em forma de disco ao final do tempo de ativação, o que não caracterizou como material adsorvente para ser utilizado no presente experimento.

A Figura 67 apresenta o comportamento de adsorção da amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas à temperatura de ativação de 800 °C.

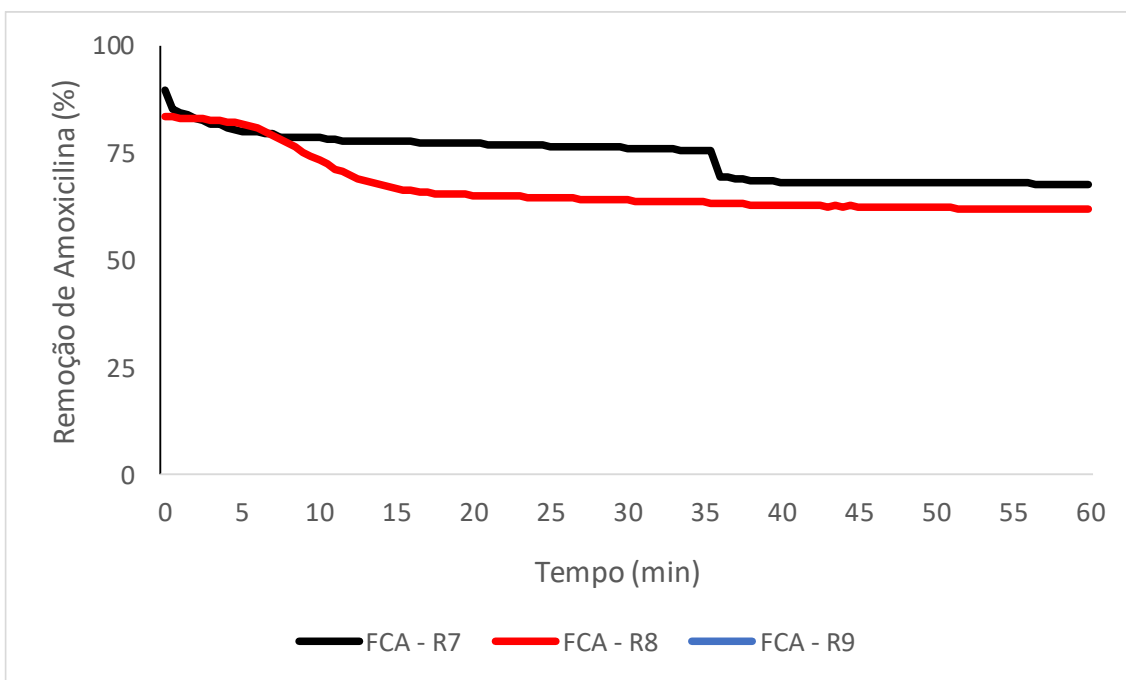


Figura 67 - Percentual de remoção de amoxicilina das amostras de celulose reciclada submetidas a temperatura de ativação de 800 °C: FCA – R7, FCA – R8 e FCA – R9.

As amostras de celulose recicladas submetidas as temperaturas de 800 °C apresentaram menores percentuais de remoção da amoxicilina, quando comparadas com as outras amostras recicladas analisadas. A amostra FCA – R8 apresentou o melhor resultado de remoção, com cerca de 35 % de remoção nos primeiros minutos, saturando o leito por volta de 20 minutos, o que demonstra o potencial de remoção do poluente e a eficiência de remoção do material.

Para a amostra FCA – R7, a saturação do leito aconteceu perto dos 40 minutos de ensaio, apresentando um volume retido considerável nos primeiros 10 minutos de ensaio com um percentual próximo dos 25 % de remoção e um segundo percentual considerável por volta dos 35 minutos de ensaio com cerca de 6 % de remoção, o que demonstra que o material adsorveu a amoxicilina, mas com grande volume sendo adsorvido nos primeiros minutos. Com relação a amostra FCN – R9, não foi possível realizar o procedimento de adsorção devido ao fato das amostras não terem saído no formato de disco do processo de ativação, devido ao tempo de isoterma a essa temperatura, seguindo uma tendência para os discos preparados pelo processo manual, uma vez que os discos não suportaram um longo período de isoterma, tanto os discos de celulose de origem vegetal como os de origem reciclada.

A Tabela 24 apresenta o percentual de remoção da amoxicilina pelos biochars preparados no presente estudo em suas diferentes condições de preparo.

Tabela 24 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em termos percentuais em cada condição preparada no presente estudo.

Quantidade Adsorvida de Amoxicilina pelas Amostras Preparadas à 600 °C (%)			
	<u>1 hora</u>	<u>2 horas</u>	<u>3 horas</u>
Natural	52	41	39
Branqueada	85	90	85
Reciclada	63	53	44
Quantidade Adsorvida de Amoxicilina pelas Amostras Preparadas à 700 °C (%)			
	<u>1 hora</u>	<u>2 horas</u>	<u>3 horas</u>
Natural	62	80	N/A
Branqueada	78	82	82
Reciclada	42	74	N/A
Quantidade Adsorvida de Amoxicilina pelas Amostras Preparadas à 800 °C (%)			
	<u>1 hora</u>	<u>2 horas</u>	<u>3 horas</u>
Natural	51	35	N/A
Branqueada	79	80	84
Reciclada	32	38	N/A

De uma maneira geral, é possível perceber que as amostras de celulose branqueada apresentaram um melhor percentual de remoção da amoxicilina em todas as condições estudadas, variando sua eficiência entre 78 % (FCA – B4) e 90 % (FCA – B2), o que demonstra elevada taxa de remoção apresentando valores semelhantes aos 74 % a 88% obtidos por Chayida e Ahmed (2015) utilizando carvões ativados em 8 horas de ensaio e aos 85 % obtidos por Mohammadi *et al.* (2015) em 120 horas de ensaio utilizando nanotubos de carbono.

As amostras naturais e recicladas apresentaram uma maior variação na taxa de remoção da amoxicilina em 60 minutos de ensaio, variando de 35 % (FCA – N8) até 80 % (FCA – N5) para as amostras de celulose natural e 32 % (FCA – R7) até 74 % (FCA – R5) nas amostras de celulose reciclada. Esses valores estão, em sua maioria, abaixo dos valores encontrados na literatura para a remoção da amoxicilina com outros materiais (MORSE e JACKSON, 2004; ADRIANO *et al.*, 2005; ZAXOULI *et al.*, 2009), entretanto, o tempo de ensaio foi menor quando comparado com esses estudos.

Destaca-se que a condição de carbonização à 700 °C e ativação com isoterma de 2 horas apresentou os melhores resultados na média das três condições estudadas, apresentando valores próximos independente do material preparado, com valores semelhantes aos ensaios de remoção da amoxicilina por outros meios (MORSE e JACKSON, 2004; ADRIANO *et al.*, 2005; ZAXOULI *et al.*, 2009; CHAYIMIDA e AHMED, 2015), com períodos de tempo menores nos ensaios realizados.

4.2.2.6 Análises Complementares do Biochar

Com base no comportamento das amostras de celulose branqueada, comparada com amostras de celulose natural e reciclada, em termos de quantidade de poluente adsorvido e eficiência do material durante o processo de remoção, foram plotados gráficos de tempo por quantidade adsorvida (t/q_i) em função do tempo de adsorção até o equilíbrio, para avaliar o comportamento das cinéticas de adsorção, os quais são apresentados nas Figura 68, Figura 69 e Figura 70.

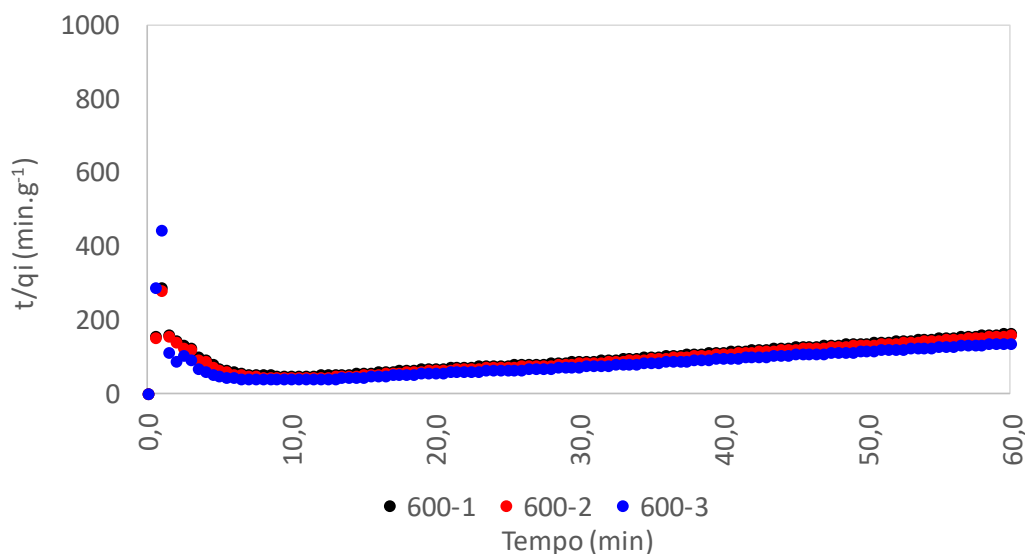


Figura 68 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em função do tempo até o equilíbrio para as amostras de celulose branqueada preparadas a 600 °C.

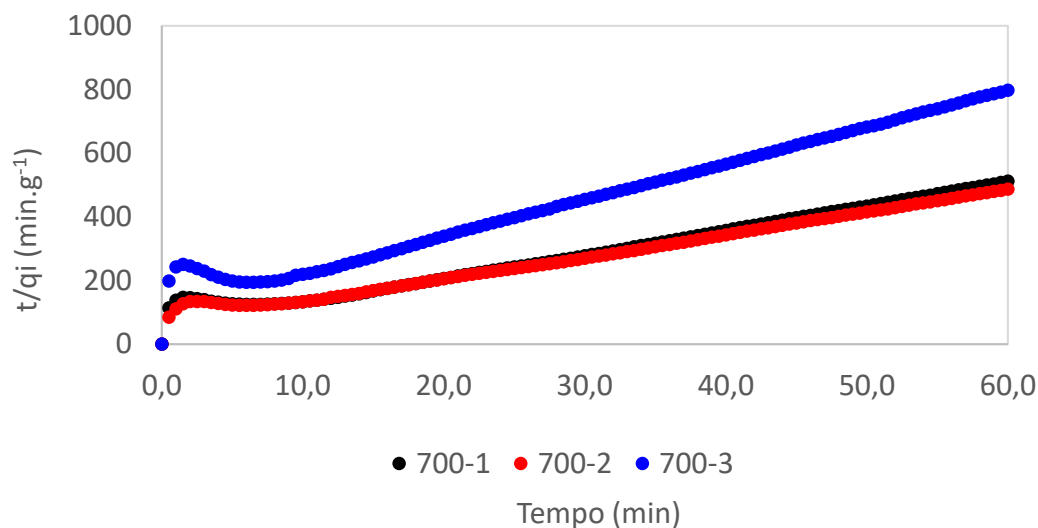


Figura 69 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em função do tempo até o equilíbrio para as amostras de celulose branqueada preparadas a 700 °C.

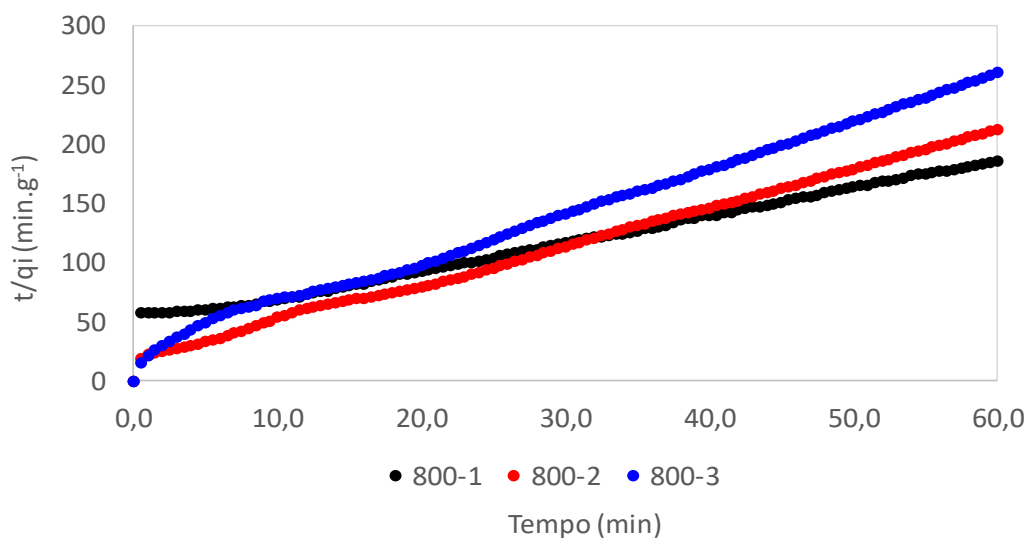


Figura 70 – Quantidade adsorvida de amoxicilina em função do tempo até o equilíbrio para as amostras de celulose branqueada preparadas a 800 °C.

Observa-se, que as amostras apresentaram linha de tendência próxima da linearidade e os valores do coeficiente linear em torno de 0,99, o que permitiu classificar a cinética de adsorção como de 2ª ordem. Aplicando-se a Equação de Langmuir, obteve-se a capacidade máxima de adsorção no equilíbrio (q_m) em função do tempo, relacionando o valor da massa (m) do leito utilizado no processo, conforme apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 – Adsorção da amoxicilina para as amostras de celulose branqueada.

Amostra	M (g)	Q _m (mg.g ⁻¹)
FCA – B 600/1	0,477	0,416
FCA – B 600/2	0,466	0,086
FCA – B 600/3	0,396	0,492
FCA – B 700/1	0,905	0,130
FCA – B 700/2	0,609	0,140
FCA – B 700/3	0,829	0,080
FCA – B 800/1	0,342	0,422
FCA – B 800/2	0,408	0,310
FCA – B 800/3	0,480	0,260

Verifica-se que as amostras preparadas nas temperaturas de 600 °C e 800 °C, apresentaram capacidade máxima de remoção de 0,416 g.cm⁻¹ e 0,422 g.cm⁻¹, respectivamente. Além disso, nota-se que a quantidade de carvão contida no leito são as menores observadas. Sendo assim, verifica-se maior capacidade de remoção de amoxicilina para menores quantidades de carvão, indicando que os materiais produzidos em ambas as condições são promissores para a aplicação na remoção de amoxicilina.

Ambas as amostras apresentaram frente de adsorção bem definida, próxima dos 5 minutos, com remoção de 80 % de amoxicilina no período de 60 minutos. Uma vez que a Equação de Langmuir permite obter a quantidade máxima adsorvida no equilíbrio, o valor obtido indica que o leito estava adequado para ser submetido a um teste com maior duração.

4.2.3 Custo de preparação do biochar

Visando discutir a sustentabilidade na preparação das amostras de *biochar*, foram calculados os valores de consumo dos gases (N₂ e CO₂) utilizados nos processos de carbonização e ativação das amostras, consumo de energia elétrica e custo das matérias primas nas diferentes condições experimentais adotadas. Observa-se que os custos apresentados se referem a uma quantidade de 10 discos de celulose preparadas como *biochar*.

A Tabela 26 apresenta o cálculo de consumo de gases N₂ e CO₂ (m³), o consumo de gás por etapa desenvolvida e o custo total com base no valor médio do dólar (R\$ 4,00).

Tabela 26 – Consumo de gases para produção do biochar.

Celulose	Amostra	Massa (g)	Carbonização	Ativação	Resfriamento	Custo (USD)		Total (USD)
			N ₂ (m ³)	CO ₂ (m ³)	N ₂ (m ³)	N ₂	CO ₂	
N A T U R A L	FCA-N1	11,80	0,023	0,012	0,0299	1,64	0,48	2,12
	FCA-N2	11,31	0,023	0,024	0,0299	1,64	0,96	2,60
	FCA-N3	9,41	0,023	0,036	0,0299	1,64	1,44	3,08
	FCA-N4	9,50	0,027	0,012	0,0351	1,93	0,48	2,41
	FCA-N5	6,43	0,027	0,024	0,0351	1,93	0,96	2,89
	FCA-N6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	FCA-N7	6,60	0,031	0,012	0,0403	2,21	0,48	2,69
	FCA-N8	2,21	0,031	0,024	0,0403	2,21	0,96	3,17
	FCA-N9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B R A N Q U E A D A	FCA-B1	9,27	0,023	0,012	0,0299	1,64	0,48	2,12
	FCA-B2	9,66	0,023	0,024	0,0299	1,64	0,96	2,60
	FCA-B3	9,96	0,023	0,036	0,0299	1,64	1,44	3,08
	FCA-B4	8,36	0,027	0,012	0,0351	1,93	0,48	2,41
	FCA-B5	8,72	0,027	0,024	0,0351	1,93	0,96	2,89
	FCA-B6	9,12	0,027	0,036	0,0351	1,93	1,44	3,37
	FCA-B7	9,72	0,031	0,012	0,0403	2,21	0,48	2,69
	FCA-B8	8,74	0,031	0,024	0,0403	2,21	0,96	3,17
	FCA-B9	8,05	0,031	0,036	0,0403	2,21	1,44	3,65
R E C I C L A D A	FCA-R1	13,34	0,023	0,012	0,0299	1,64	0,48	2,12
	FCA-R2	14,45	0,023	0,024	0,0299	1,64	0,96	2,60
	FCA-R3	14,82	0,023	0,036	0,0299	1,64	1,44	3,08
	FCA-R4	13,84	0,027	0,012	0,0351	1,93	0,48	2,41
	FCA-R5	12,05	0,027	0,024	0,0351	1,93	0,96	2,89
	FCA-R6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	FCA-R7	10,21	0,031	0,012	0,0403	2,21	0,48	2,69
	FCA-R8	7,40	0,031	0,024	0,0403	2,21	0,96	3,17
	FCA-R9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

O consumo de N₂ variou de acordo com as temperaturas de carbonização, uma vez que o gás é utilizado na etapa de carbonização das amostras a partir da temperatura ambiente, que não sofre grandes variações na região em estudo. Com isso, foram considerados os mesmos valores para as ativações na mesma temperatura. O consumo de CO₂ na etapa de ativação é o mesmo para as isotermas com mesmo tempo de duração (1 h, 2 h e 3 h).

O custo total do consumo dos gases variou com relação ao rendimento na produção das amostras de celulose ativada, o que pode ser explicado devido ao processo não ser 100 % mecanizado, oscilando tanto no peso inicial das

amostras submetidas ao processo de ativação como na homogeneidade das mesmas.

A celulose natural produzida a 800 °C com 2 h de isoterma (FCA – N8) apresentou o maior valor registrado, devido ao baixo rendimento de massa obtido após a ativação, destoando das demais amostras de celulose natural.

As amostras de celulose natural e reciclada com 3 horas de ativação apresentaram materiais quebradiços, sem formato de disco, que não foram considerados nos cálculos de consumo.

Às amostras de celulose branqueada apresentaram valores mais uniformes de massa do carvão, correlacionando com o consumo dos gases durante o processo, devido ao fato de serem preparadas por processos mecanizados e padronizados, apresentando características padrões das placas de celulose que foram a matéria prima para o estudo.

As amostras de celulose reciclada apresentaram os melhores valores para produção como elemento filtrante, devido a massa final das amostras, o que é importante, uma vez que consiste em um material reciclado, aproveitando um material que seria descartado.

De um modo geral, as amostras preparadas a 600 °C apresentam menores valores nos três tipos de celulose estudados, devido ao ciclo mais rápido de carbonização e ativação.

Após os cálculos de consumo de gases, foram calculados o consumo de energia elétrica para o sistema experimental utilizado considerando o valor de USD 0,13/KWh (ANEEL, 2019), valores adotados pela CPFL no estado de São Paulo, utilizando como base de cálculo a potência de cada equipamento e o tempo de operação.

Foi considerada como taxa de conversão de R\$ 4,00 para USD 1,00, conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Consumo de energia elétrica para a produção do biochar.

Celulose	Forno Potência = 2,86 kW		Coifa Potência = 0,66 kW		Total (USD)
	Trabalho (h)	Consumo (kWh)	Trabalho (h)	Consumo (kWh)	
600/1	2,92	8,34	6,28	4,15	1,63
600/2	3,92	11,20	9,81	6,47	2,31
600/3	4,92	14,06	11,65	7,69	2,84
700/1	3,25	9,30	6,62	4,37	1,79
700/2	4,25	12,16	10,14	6,69	2,46
700/3	5,25	15,02	11,98	7,91	3,00
800/1	3,58	10,25	6,95	4,59	1,94
800/2	4,58	13,11	10,48	6,91	2,62
800/3	5,58	15,97	12,32	8,13	3,15

As condições para carbonização e ativação das amostras são as mesmas com relação ao consumo de energia elétrica, assim, os valores foram calculados a partir das condições experimentais. Nota-se um aumento no consumo de energia elétrica com o aumento das temperaturas de carbonização (600 °C, 700 °C e 800 °C) e em virtude da duração da isoterma de ativação (1 h, 2 h e 3 h).

Nesse sentido, a maior temperatura de ativação associada a isoterma com maior duração, apresentou os maiores consumos de energia elétrica, pois requer o funcionamento do sistema por maior tempo.

Os valores de consumo de gases e energia elétrica foram tabelados na busca por estimar o custo total para a produção do *biochar* em suas diferentes condições de preparo e obtenção da matéria prima, conforme apresentado na Tabela 28. O custo da celulose foi obtido a partir da média de preços de 3 fornecedores no estado de São Paulo e foi apresentado em kg.

Os resultados indicaram um menor custo para as fibras de celulose reciclada, devido ao rendimento em massa que as amostras apresentaram após a ativação. O menor custo foi obtido pela amostra reciclada preparada na condição de 600 °C com 1 h de isoterma (FCA – R1), devido ao ciclo mais curto da amostra no forno. Nessa condição, a aplicação da maior taxa de aquecimento escolhida como estudo e menores temperaturas de ativação e duração de isoterma, fatores que resultam em menor consumo de energia elétrica e menor consumo de gases.

Tabela 28 – Custo total da produção do biochar.

		Custo (USD)			
Celulose	Condição	Celulose (10g)	Gases	Energia Elétrica	Total
N A T U R A L	FCA-N1	0,80	2,12	1,63	4,55
	FCA-N2	0,80	2,60	2,31	5,71
	FCA-N3	0,80	3,08	2,84	6,72
	FCA-N4	0,80	2,41	1,79	4,99
	FCA-N5	0,80	2,89	2,46	6,15
	FCA-N6	N/A	N/A	N/A	N/A
	FCA-N7	0,80	2,69	1,94	5,43
	FCA-N8	0,80	3,17	2,62	6,59
	FCA-N9	N/A	N/A	N/A	N/A
B R A N Q U E A D A	FCA-B1	1,10	2,12	1,63	4,85
	FCA-B2	1,10	2,60	2,31	6,01
	FCA-B3	1,10	3,08	2,84	7,02
	FCA-B4	1,10	2,41	1,79	5,29
	FCA-B5	1,10	2,89	2,46	6,45
	FCA-B6	1,10	3,37	3,00	7,46
	FCA-B7	1,10	2,69	1,94	5,73
	FCA-B8	1,10	3,17	2,62	6,89
	FCA-B9	1,10	3,65	3,15	7,90
R E C I C L A D A	FCA-R1	0,00	2,12	1,63	3,75
	FCA-R2	0,00	2,60	2,31	4,91
	FCA-R3	0,00	3,08	2,84	5,92
	FCA-R4	0,00	2,41	1,79	4,19
	FCA-R5	0,00	2,89	2,46	5,35
	FCA-R6	N/A	N/A	N/A	N/A
	FCA-R7	0,00	2,69	1,94	4,63
	FCA-R8	0,00	3,17	2,62	5,79
	FCA-R9	N/A	N/A	N/A	N/A

Os maiores custos de produção foram das amostras preparadas a 800 °C, de uma maneira geral, devido ao tempo de aquecimento até 800 °C e resfriamento até a temperatura ambiente, mantendo todo o sistema em funcionamento.

Destaca-se que os custos aqui apresentados foram para produzir entre 7 g e 15 g de biochar para aplicação como adsorbato nas diferentes condições preparadas, entretanto, apenas cerca de 8 % a 15 % foram utilizados nos ensaios de remoção da amoxicilina, o que permite estudos mais aprofundados para sua aplicação em escalas maiores.

Analisando os valores obtidos para a produção de *biochar* com os apresentados por Ahmed *et al.* (2015), verifica-se que os valores obtidos estão em acordo com as comparações realizadas pelo estudo, apontando o *biochar* como o material com menor custo de produção. Quando comparado com a preparação de

viscose nas mesmas condições, os valores de *biochar* apresentam valores menores (PLENS, 2018), assim como com relação as resinas (AHMED *et al.*, 2015).

Outro ponto a destacar consiste no fato de não ter sido variada a quantidade de discos, conseqüentemente a massa, que iniciaram o processo de carbonização e ativação, ou seja, não foram feitas análises para a preparação de maiores quantidades de *biochar* em cada condição estudada, o que pode diminuir o custo do sistema, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

Assim, tem-se que a preparação das amostras de celulose para remoção da amoxicilina na forma de *biochar* apresentaram valores satisfatórios quando comparada com outros métodos de remoção da amoxicilina (MORSE e JACKSON, 2004; ADRIANO *et al.*, 2005; ZAXOULI *et al.*, 2009; CHAYIMIDA e AHMED, 2015), mesmo levando em consideração as variações nos valores obtidos.

Correlacionando o sistema de produção de papel e celulose com a preparação dos materiais, tem-se que a celulose foi eficiente na remoção da amoxicilina nas três fases do seu ciclo de vida, abrindo espaço para uma discussão a respeito de qual a melhor etapa do seu ciclo de vida para ser utilizada como material adsorvente de CTG's. Nesse sentido, sua utilização como *biochar* a partir da celulose natural ou branqueada pode não ser a maneira mais sustentável de se aplicar a celulose, uma vez que ainda está no seu primeiro ciclo de consumo, apresentando valor agregado ao produto.

Com relação a celulose reciclada, tem-se que a mesma concluiu seu primeiro ciclo de consumo, surgindo a oportunidade de ser reaproveitada para a minimização de impactos ambientais associados a poluição das águas, o que a destoa para ser melhor estudada a fim de aumentar sua eficiência para a adsorção de poluentes em águas.

Por fim, com base nos custos de preparação, a celulose ativada pode ser aplicada comercialmente, se estudos com esse foco forem desenvolvidos a fim de melhorar a sustentabilidade do seu ciclo de produção, com base na metodologia da EC.

5 CONCLUSÕES

A partir do problema de pesquisa levantado no presente estudo, foi preparado um novo elemento filtrante para a remoção da amoxicilina, a partir da celulose, em diferentes etapas do seu ciclo de vida. Nas três fases estudadas, os materiais apresentaram eficiência na remoção da amoxicilina para aplicação em águas superficiais, mesmo que apresentando diferentes características de remoção. Com relação aos ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), o presente estudo atendeu aos seguintes objetivos:

- ODS 6 – foi desenvolvido um novo elemento filtrante que colabora com a busca por alternativas que contribuam para a gestão sustentável de água potável;
- ODS 11 – a partir de estudos complementares de viabilidade e aumento na escala de produção do elemento filtrante este estudo pode contribuir na busca por cidades mais sustentáveis;
- ODS 12 – devido a possibilidade de utilizar a celulose como material adsorvente da amoxicilina nas três fases do seu ciclo de vida, este estudo apresentou uma alternativa para melhorar o ciclo de produção da celulose, tornando-o mais sustentável com base na metodologia da EC e da ferramenta ACV;
- ODS 14 – o desenvolvimento do novo elemento filtrante buscou reduzir o impacto ambiental dos poluentes fármacos, especificamente a amoxicilina, em águas marinhas.

Nesse contexto, o presente trabalho atendeu ao que foi proposto como objetivo geral, uma vez que os elementos filtrantes desenvolvidos mostraram que a celulose pode ser utilizada como material adsorvente de CTG, em especial da amoxicilina. Os valores obtidos nos ensaios são semelhantes ou superiores aos encontrados na literatura, em que Chayida e Ahmed (2015) removeram de 74 % a 88 % de amoxicilina em 8 horas de ensaio, Mohammadi *et al.* (2015) removeram 85 % em 120 horas de ensaio e Ghauch, Tuqan e Assi (2009) que removeram 100 % em 3 horas de ensaio com diferentes métodos, apresentando como principal vantagem o custo de produção do material.

A partir da análise do ciclo de vida da celulose (Apêndice 1), identificou-se uma série de impactos ambientais potenciais que precisam ser constantemente monitorados. As três diferentes etapas do processo em que foram retiradas as matérias primas da celulose para o desenvolvimento do presente estudo apresentaram diferentes graus de impactos ambientais, destacando:

- 1ª Etapa – celulose natural: apresentou elevada interação com o meio ambiente devido ao desenvolvimento, plantio e cultivo das mudas com adubos, fertilizantes e agrotóxicos, gerando diversos impactos diretos por esta etapa. Entretanto, a magnitude desses impactos foi considerada baixa, uma vez que foram identificados 43 impactos ambientais considerados desprezíveis, 27 impactos ambientais aceitáveis e 4 impactos ambientais moderados (Apêndice 2);
- 2ª Etapa – celulose branqueada e produção de papel: esta consiste na etapa que mais pode impactar o meio ambiente, na qual a celulose é processada transformando suas fibras em pasta de celulose ou papel para ser vendida no mercado. Consiste na etapa que apresentou as principais etapas de transformação da matéria prima e tem seu pico de impactos ambientais nas etapas de cozimento e branqueamento. Apresentou como principais problemas ambientais o licor negro, principal resíduo da indústria de papel e celulose, resíduos químicos, vazamentos, óleos e graxas, emissões gasosas, entre outros. A magnitude de seus impactos é complexa e faz com que toda esta etapa esteja em constante monitoramento, sendo identificados 35 impactos considerados desprezíveis, 323 impactos aceitáveis, 65 impactos moderados, 3 impactos graves e 5 impactos críticos (Apêndice 3);
- 3ª Etapa – celulose reciclada: esta etapa tem como principal obstáculo em termos de viabilidade de processo a logística reversa para retorno dos papéis em fim de vida para o processo fabril. Consiste em uma etapa compensatória em que se busca minimizar os efeitos adversos do descarte irregular dos resíduos de papel pela sociedade. Entretanto, apresentou impactos ambientais potenciais, da mesma forma que o processo de produção de celulose branqueada, o que exige constante monitoramento e controle deste processo. Como característica dos

principais contaminantes, tem-se os efluentes líquidos com contaminantes químicos, materiais que vem misturados com o papel como grampos, cliques, entre outros, vazamentos e emissão de gases. Assim como a etapa anterior, apresentou impactos ambientais potenciais complexos, sendo identificados 6 impactos ambientais desprezíveis, 134 impactos aceitáveis, 47 impactos moderados e 4 impactos graves (Apêndice 4).

Com relação ao preparo dos carvões ativados, eles apresentaram rendimento em conformidade com os dados obtidos em literatura, com cerca de 20 % a 40 % em isoterma lenta (GONZÁLEZ *et al.*, 2009; UCHIMIYA *et al.*, 2011; ANTAL *et al.*, 2000), 10 % a 20 % em isoterma rápida (WEI *et al.*, 2006; DESISTO *et al.*, 2010) e aproximadamente 10 % em gaseificação (MEYER, GLASER e QUICKER, 2011), apresentando como melhor material a celulose reciclada com rendimentos próximos de 30 % em massa.

De uma maneira geral os valores de rendimento em massa não apresentaram variação significativa referente aos fatores de temperatura de ativação apresentando valores entre 15 % e 30 %, com exceção da FCA – N8 que apresentou 5,14 %. Com relação à quantidade de voláteis, as amostras de celulose, no geral, apresentaram valores entre 70 % e 80 % da massa, o que indica um material apropriado para ativação e posterior remoção de micropoluentes. As amostras apresentaram baixo teor de umidade, devido às características de preparo possuírem as etapas de prensa e secagem.

Referente às isotermas de preparação, as amostras, em geral, apresentaram a presença de micro e mesoporos após a ativação, o que favorece a sua utilização como CA no processo de adsorção. Analisando-se os valores obtidos em cada uma das situações, nota-se que as amostras de celulose natural e reciclada não apresentaram padrão de remoção da amoxicilina, variando a capacidade de remoção nas diferentes condições estudadas. Em contrapartida, as amostras de celulose branqueada apresentaram uma tendência de adsorção bem definida, apresentando valores semelhantes aos encontrados na literatura (MORSE e JACKSON, 2004; ADRIANO *et al.*, 2005; ZAXOULI *et al.*, 2009; CHAYIMIDA e AHMED, 2015).

As amostras de celulose natural apresentaram valores consideráveis de remoção da amoxicilina, mesmo com a variação na eficiência do material, com valores entre 30 % e 80 % da remoção do fármaco nos primeiros 60 minutos de ensaio, o que indica que o material é propício para a remoção de poluentes persistentes. Entretanto, sua eficiência teve grande variação pelo fato de parte do processo de produção do material ter sido realizada manualmente, o que interferiu na padronização das amostras.

As amostras de celulose branqueada apresentaram menores tempos de saturação com aumento da duração da isoterma, indicando que a área superficial específica do material adsorvente possui maior disponibilidade de remoção da amoxicilina.

Verificou-se que as amostras branqueadas, preparadas nas temperaturas de 600 °C (FCA – B1) e (FCA – B7) 800 °C, apresentaram capacidade máxima de remoção de 0,416 g.cm⁻¹ e 0,422 g.cm⁻¹, respectivamente, com as menores quantidades de carvão contidas no leito, evidenciando que os materiais produzidos em ambas as condições são promissores para a aplicação na remoção de amoxicilina.

As amostras apresentaram frente de adsorção bem definida, próxima dos 5 min, com remoção de 75 % de amoxicilina no período de 60 min, com a remoção completa com o passar do tempo, o que mostra a eficiência na remoção da amoxicilina pelas amostras de celulose branqueada.

As amostras de celulose reciclada apresentaram bons valores de remoção da amoxicilina, principalmente nas isotermas preparadas a 600 °C e 700 °C. O material apresentou uma variação na eficiência do material, com valores entre 45 % e 80 % da remoção do fármaco nos primeiros 60 minutos de ensaio, o que mostrou que o material também foi propício para a remoção de poluentes persistentes, entretanto, sua eficiência teve grande variação pelo fato de parte do processo de produção do material ter sido realizada manualmente, assim como aconteceu com a celulose natural, o que interferiu na padronização das amostras.

Assim, a celulose pode ser considerada como um novo elemento filtrante para remoção de CTG's, uma vez que se mostrou eficiente para a remoção da

amoxicilina em leite aquoso, sendo possível sua aplicação em diferentes etapas do seu ciclo de vida. Entretanto, as amostras naturais e recicladas preparadas nas condições de 3 horas de isoterma não apresentaram materiais com características de disco para serem utilizadas como adsorventes, devido a carbonização da maioria de sua massa durante a isoterma.

Com relação aos dados de consumo dos materiais, as amostras apresentaram valores entre USD 3,00 e USD 8,00 em cada condição preparada (cerca de 10 gramas de carvão), o que permite discussões a respeito de sua aplicação como elemento adsorvente, uma vez que as massas utilizadas para os ensaios de adsorção consistiram em cerca de 8 % e 15 % da massa total produzida, para todas as condições estudadas. Outro fato que corrobora com a viabilização na utilização deste material, consiste na possibilidade de se preparar maiores quantidades de material em sistemas fechados e controlados, que garantam o fluxo de gás e aumento de temperatura em uma faixa maior que o forno utilizado neste trabalho.

Visando sua aplicação em escala industrial, pode-se dizer que pequenas proporções do material foram capazes de remover grandes quantidades de amoxicilina com baixo custo de preparação, o que abre espaço para estudos complementares visando este foco de desenvolvimento.

Por fim, analisando o ciclo de vida da celulose, as 3 etapas se apresentaram como bons materiais a serem melhor estudados para aplicação a nível comercial como elementos filtrantes de CTG, entretanto, correlacionando as três áreas de estudo do presente trabalho, tem-se que a utilização e consequente padronização no processo de preparo da celulose reciclada pode contribuir para o reaproveitamento deste resíduo, contribuindo com o fechamento do ciclo da celulose e papel com base na contribuição para a aplicação da metodologia da EC neste ciclo de produção.

5.1 Delimitações da Pesquisa

A presente pesquisa apresentou algumas limitações no seu desenvolvimento:

- A análise de inventário da ACV da indústria de celulose e papel foi realizada de maneira qualitativa e sem destacar todas as interações dessa cadeia de produção com o meio ambiente;
- As análises experimentais foram realizadas com temperaturas elevadas para a preparação da celulose como *biochar* devido a definição no início do projeto, não sendo estudadas condições com temperaturas baixas de carbonização das amostras;
- O estudo focou na remoção da amoxicilina, não testando a eficiência dos *biochars* preparados para outros poluentes de terceira geração.

5.2 Sugestão de Trabalhos Futuros

A partir das limitações, ficam algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar uma ACV da celulose e papel com foco no entendimento detalhado do produto, realizando uma análise de inventário quantitativa e correlacionando seus potenciais impactos ambientais com as medidas de mitigação já desenvolvidas por esse ramo industrial;
- Testar o modelo experimental proposto para a preparação do *biochar* a partir da celulose em temperaturas mais baixas de carbonização, melhorando seu impacto ambiental;
- Realizar o tratamento de outros contaminantes de terceira geração para com os *biochar* preparados a partir da celulose;
- Realizar uma análise de viabilidade financeira em comparação com outros métodos.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carvão Vegetal – Análise Imediata. NBR8112 (MB1857), 1986.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2013. 2014. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/-panorama2013.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2015.

ACOT, P. História da ecologia. *Campus*, Rio de Janeiro, 2, 1990.

ADRIANO, W.S.; VEREDAS, V.; SANTANA, C.C.; GONÇALVES, L.R.B. Adsorption of amoxicillin on chitosan beads: Kinetics, equilibrium and validation of finite bath models. *Journal Biochemical Engineering*, 27, 132-137, 2005.

AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A. U.; LIM, J. E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S. S.; OK, Y. S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19-33, 2014.

AHMAD, M.; LEE, S. S.; DOU, X.; MOHAN, D.; SUNG, J. K.; YANG, J. E. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresource Technology*, 118, 536-544, 2012.

AHMAD, A. A.; HAMEED, B. H. Effect of preparation conditions of activated carbon from bamboo waste for real textile wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 173, 487-493, 2010.

AHMED, M. B.; ZHOU, J. L.; NGO, H. H.; GUO, W.; THOMAIDIS, N. S.; XU, J. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 274-298, 2017.

AHMED, M. B.; ZHOU, J. L.; NGO, H. H.; GUO, W.; CHEN, M. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater. *Bioresource Technology*, 214, 836-851, 2016.

AHMED, M. B.; ZHOU, J. L.; NGO, H. H.; GUO, W. Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: Progress and challenges. *Science of the Total Environment*, 532, 112 – 126, 2015.

AHMED, M. A.; MARSHALL, W. E.; RAOA, R. M. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Bioresource Technology*, 71, 113-123, 2000.

AKSU, Z.; TUNÇ, Ö. Application of biosorption for penicillin G removal: comparison with activated carbon. *Process Biochemistry*, 40, 831-847, 2005.

AL-KHATEEB, L. A.; ALMOTIRY, S.; SALAM, M. A. Adsorption of pharmaceutical pollutants onto graphene nanoplatelets. *Chemical Engineering Journal*, 248, 191-199, 2014.

ANDERSEN, M. S. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainable Sciences*, 2, 133-140, 2007.

ANTAL, M.J.; ALLEN, S.G.; DAI, X.F.; SHIMIZU, B.; TAM, M.S.; GRONLI, M. Attainment of the theoretical yield of carbon from biomass. *Industry Engineer Chemistry Res*, 39, 4024-4031, 2000.

ANTOLÍN-LÓPEZ, R.; DELGADO-CEBALLOS, J.; MONTIEL, I. Deconstructing corporate sustainability: a comparison of different stakeholder metrics. *Journal of Cleaner Production*, 136, 5-17, 2016.

ANUPAM, K.; SHARMA, A. K.; LAL, P. S.; SUTTA, S.; MAITY, S. Preparation, characterization and optimization for upgrading *Leucaena leucocephala* bark to biochar fuel with high energy yielding. *Energy*, 106, 743-756, 2016.

ARAS, G.; TEZCAN, N.; KUTLU FURTUNA, O. Multidimensional comprehensive corporate sustainability performance evaluation model: evidence from an emerging market banking sector. *Journal of Cleaner Production*, 185, 600-609, 2018.

ARCHANA, G.; DHODAPKAR, R.; KUMAR, A. Offline solid-phase extraction for preconcentration of pharmaceuticals and personal care products in environmental water and their simultaneous determination using the reversed

phase high-performance liquid chromatography method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1, 188-512, 2016.

ASHRAFI, M.; ADAMS, M.; WALKER, T. R.; MAGNAN, G. How corporate social responsibility can be integrated into corporate sustainability: a theoretical review of their relationships. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 25, 672-682, 2018.

AYAMBIRE, R. A.; AMPONSAH, O.; PEPRAH, C.; TAKYI, S. A. A review of practices for sustaining urban and peri-urban agriculture: Implications for land use planning in rapidly urbanising Ghanaian cities. *Land Use Policy*, 84, 260-277, 2019.

AYRES, R. U.; UDO, E. S. Industrial metabolism: restructuring for sustainable development. *United Nations University Press*, Tóquio, 1994.

B. CORPORATION. B Resource Guide : Conducting a Life Cycle Assessment (LCA). B Resource Guide, 1-7, 2017. Disponível em: http://nbis.org/nbisresources/life_cycle_assessment_thinking/guide_life_cycle_assessment_bcorp.pdf. Acesso em: 15 de abril de 2019.

BAINES, T.; BRONW, S.; BENEDETTINI, O.; BALL, P. Examining green production and its role within the competitive strategy of manufacturers. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5, 53-87, 2012.

BALDINI, C.; GARDONI, D.; GUARINO, M. A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production*, 140, 421-435, 2017.

BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. *Saraiva*, 3, São Paulo, 2011.

BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. *Visões*, 2008.

BARNOSKY, A. D.; MATZKE, N.; TOMIYA, S.; WOGAN, G. O. U.; SWARTZ, B.; QUENTAL, T. B.; MARSHALL, C.; MCGUIRE, J. L.; LINDSEY, E. L.; MAGUIRE, K. C.; MERSEY, B.; FERRER, E. A. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, 471, 51-57, 2011.

BARRICHELLO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. Brasília PNUD/FAO/IBDF/BRA, 145p, 1976.

BECKER, M.; ZITTLAU, E.; PETZ, M. Residue analysis of 15 penicillins and cephalosporins in bovine muscle, kidney and milk by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 520, 19-32, 2004.

BIJLSMA, L.; SERRANO, R.; FERRER, C.; TORMOS, I.; HERNÁNDEZ, F. Occurrence and behavior of illicit drugs and metabolites in sewage water from the Spanish Mediterranean coast (Valencia region), *Sci. Total Environmental*, 487, 703-709, 2014.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. *Química Nova*, 26, 4, 523-530, 2003.

BIRD, M.; TALBERT, J. Waste stream reduction and re-use in the pulp and paper sector. *Washington State Department of Ecology Industrial Footprint Project*, Center for Sustainable Economy, 2008.

BOLAN, N. S.; THANGARAJAN, R.; SESHADRI, B.; JENA, U.; DAS, K. C.; WANG, H.; NAIDU, R. Landfills as a biorefinery to produce biomass and capture biogas. *Bioresource Technology*, 135, 578-587, 2013.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Relatório estatístico 2013/2014. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-064.pdf>> Acesso em: 04 de fevereiro de 2016.

BRACHET, A.; SCHIOPU, N.; CLERGEAU, P. Biodiversity impact assessment of building's roofs based on Life Cycle Assessment methods. *Building and Environment*. 158, 133-144, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano. Brasília: Funasa, 2007. 126 p.

BROMAN, G. I.; ROBERT, K. H. A framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 140, 17-31, 2017.

BROWN, R. Biochar production technology. *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscans, UK, pp. 127-146, 2009.

BRUCH, L. W.; COLE, M. W.; ZAREMBA, E. *Physical Adsorption: Forces and Phenomena*. *Dover Publications Inc*, Mineola, New York, 2007.

BUTKOVSKYI, A.; LEAL, L. H.; ZEEMAN, G.; RIJNAARTS, H. H. M. Micropollutants in source separated wastewater streams and recovered resources of source separated sanitation. *Environmental Research*, 156, 434-442, 2017.

CANDELIER, K., DURMAÇAY, S., PÉTRISSANS, A., DESHARNAIS, L., GÉRARDIN, P., PÉTRISSANS, M. Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum. *Polymer Degradation and Stability*, 98, 677-681, 2013.

CAO, X.; ZHONG, L.; PENG, X.; SUN, S.; LI, S.; LIU, S.; SUN, R. Comparative study of the pyrolysis of lignocellulose and its major components: characterization and overall distribution of their biochars and volatiles. *Bioresource Technology*, 155, 21-27, 2014.

CARLSON, R. A. *Primavera Silenciosa*. *Gaia*, 2010.

CARTER, C. R.; ROGERS, D. S. A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38, 360-387, 2008.

CARVALHO, I. T.; SANTOS, L. Antibiotics in the aquatic environments: A review of the European scenario. *Environment International*, 94, 736-757, 2016.

CASAMAYOR, J. L.; SU, D. Integration of eco-design tools into the development of eco-lighting products. *Journal of Cleaner Production*, 47, 32-42, 2013.

CEBALLOS, G.; EHRLICH, P. R.; DIRZO, R. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings National Academy Science*, 114, 2017.

CHAYIDA, M.A.; AHMEDA; M.J. Amoxicillin adsorption on microwave prepared activated carbon from *Arundo donax* Linn: Isotherms, kinetics, and

thermodynamics studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 1592-1601, 2015.

CHEN, G.; LIU, X.; TARTAKEVOSKY, D. LI, M. Risk assessment of three fluoroquinolone antibiotics in the groundwater recharge system. *Ecotoxicology on Environmental Safety*, 133, 18-24, 2016.

CHEN, X.; CHEN, G. CHEN, L.; CHEN, Y.; LEHMANN, J.; MCBRIDE, M. B.; HAY, A. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresource Technology*, 102, 8877-8884, 2011.

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34, 2116-2123, 2009.

CHOU, J. R. An ARIZ-based life cycle engineering model for eco-design. *Journal of Cleaner Production*, 66, 210-223, 2014.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Nosso Futuro Comum. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2, 430, 1991.

CODAGNONE, C.; MARTENS, B. Scoping the sharing economy: origins, definitions, impact and regulatory issues. *Scientific and Technical Research Reports*, JRC Reports, 2016.

COELHO, L. M. G.; LANGE, L. C. Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 438-450, 2018.

CORNIANI, N. Relação entre estresse de radiação UV-B e óxido nítrico em plantas de eucalipto. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2009.

COSTA, D.; QUINTEIRO, P.; DIAS, A. C. A systematic review of life cycle sustainability assessment: Current state, methodological challenges, and implementation issues. *Science of the Total Environment*, 686, 774–787, 2019.

DANTAS, G.; SOMMER, M.O.; OLUWASEGUN, R.D.; CHURCH, G.M. Bacteria subsisting on antibiotics. *Science*, 320, 100-103, 2008.

DAS, O.; SARMAH, A. K.; BHATTACHARYYA, D. Structure–mechanics property relationship of waste derived biochars. *Science of The Total Environment*, 538, 611-620, 2015.

DE BAAN, L.; CURRAN, M.; RONDININI, C.; VISCONTI, P.; HELLWEG, S.; KOELLNER, T. High-resolution assessment of land use impacts on biodiversity in life cycle assessment using species habitat suitability models. *Environmental Science Technology*, 49, 2237-2244, 2015.

DEEGAN, A. M.; SHAIK, B.; NOLAN, K.; URELL, K.; OELGEMÖLLER, M.; TOBIN, J.; MORRISSEY, A. Treatment options for wastewater effluents from pharmaceutical companies. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 8, 649-666, 2011.

DEMIRBAS, A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1–9, 2009.

DESISTO, W.J.; HILL, N.; BEIS, S.H.; MUKKAMALA, S.; JOSEPH, J.; BAKER, C. Fast pyrolysis of pine sawdust in a fluidized-bed reactor. *Energy Fuels*, 24, 2642-2651, 2010.

DEVI, P.; SAROHA, A. K. Effect of pyrolysis temperature on polycyclic aromatic hydrocarbons toxicity and sorption behaviour of biochars prepared by pyrolysis of paper mill effluent treatment plant sludge. *Bioresource Technology*, 192, 312-320, 2015.

DINH, Q. T.; MOREAU-GUIGON, E.; LABADIE, P.; ALLIOT, F.; TEIL, M.; BLANCHARD, M.; CHEVREUIL, M. Occurrence of antibiotics in rural catchments. *Chemosphere*, 168, 483-490, 2017.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. Biochar for environmental management. *Science and Technology*. Earthscan, London, 13-32, 2009.

DURAN, D. C.; ARTENE, A. L.; GOGAN, M.; DURAN, V. The objectives of sustainable development - ways to achieve welfare. *Procedia Economics and Finance*, 26, 812-817, 2015.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. 2015. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2019.

ELKINGTON, J. Sustentabilidade: canibais com garfo e faca. São Paulo: *M. Books do Brasil*, 2012.

EMF – ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes (2015). Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads-/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf. Acesso em: 10 de julho de 2019.

EMF – ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes (2013). Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/-publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>. Acesso em: 10 de julho de 2019.

ENGERT, S.; RAUTER, R.; BAUMGARTNER, R. J. Exploring the integration of corporate sustainability into strategic management: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2833-2850, 2016.

ENICK, O. V.; MOORE, M. M. Assessing the Assessments: Pharmaceuticals in the Environment. *Environmental Impact Assessment Review*, 27, 707-729, 2007.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Pesticides: Regulating Pesticides. “Persistent Organic Pollutants (POPs)”. 2012. Disponível em: <http://www.epa.gov/international/about/index.html>. Acesso 15 de novembro de 2016.

FERREIRA, C. I. A.; CALISTO, V.; OTERO, M.; NADAIS, H.; ESTEVES, V. I. Comparative adsorption evaluation of biochars from paper mill sludge with

commercial activated carbon for the removal of fish anaesthetics from water in Recirculating Aquaculture Systems. *Aquacultural Engineering*, 74, 76-83, 2016.

FOELKEL, C. As fibras dos eucaliptus e as qualidades requeridas na celulose Kraft para fabricação de papel. *Eucalyptus Online Book*, 48p, 2007.

FOO, K. I.; HAMEED, B. H. Preparation and characterization of activated carbon from sunflower seed oil residue via microwave assisted K_2CO_3 activation. *Bioresource Technology*, 102:9794–9799, 2011.

FROSCH, R. A. Industrial ecology - a philosophical introduction. *Proceedings of the National Academy Sciences*, 89, 800-803, 1992.

GENÇ, N. Removal of antibiotic ciprofloxacin hydrochloride from water by kandira stone: kinetic models and thermodynamic. *Global NEST Journal*, 17, 498-507, 2015.

GEERKEN, T.; SCHIMIDT, J.; BOONEN, K.; CHRISTIS, M.; MERCIAI, S. Assessment of the potential of a circular economy in open economies – Case of Belgium. *Journal of Cleaner Production*, 227, 683-699, 2019.

GHAUCH, A.; TUQAN, A.; ASSI, H.A. Antibiotic removal from water: Elimination of amoxicillin and ampicillin by microscale and nanoscale iron particle. *Environmental Pollution*, 157, 1-10, 2009.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32, 2016.

GOMEZ-ECHEVERRI, L. Climate and development: enhancing impact through stronger linkages in the implementation of the Paris Agreement and the Sustainable Development Goals (SDGs). *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 376, 2018.

GREENPEACE. History information. 2012. Disponível em: <http://www.greenpeace.-org/portugal/pt/greenpeace/historia-da-greenpeace>. Acesso em 24 de Março de 2012.

GROVER, D. P.; ZHOU, J. L.; FRICKERS, P. E.; READMAN, J. W. Improved removal of estrogenic and pharmaceutical compounds in sewage effluent by full scale granular activated carbon: Impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 1005-1011, 2011.

GONZÁLEZ, J. F.; ROMÁN, S.; ENCIMAR, J. M.; MARTÍNEZ, G. Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons. *Journal Analysis Application Pyrolysis*, 85, 134-141, 2009.

GUIMARÃES, J. C. F.; SEVERO, E. A.; Vieira, P. S. Cleaner production, project management and Strategic Drivers: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 141, 881-890, 2017.

GUIMARÃES, C. A.; MENAA, F.; MENAA, B.; LEBRUN, I.; QUENCA-GUILLEN, J. S.; AUADA, A. V. V.; MERCURI, L. P.; FERREIRA, P.; SANTORO, M. I. R. M. Determination of isotretinoin in pharmaceutical formulations by reversed-phase HPLC. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 3, 454-458, 2010.

HACKING, T. The SDGs and the sustainability assessment of private-sector projects: theoretical conceptualisation and comparison with current practice using the case study of the Asian Development Bank. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 37, 2-16, 2018.

HALBE, J.; ADAMOWSKI, J.; PAHL-WOSTL, C. The role of paradigms in engineering practice and education for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 106, 272-282, 2015.

HALME, M.; LAURILA, J. Philanthropy, Integration or Innovation? Exploring the Financial and Societal Outcomes of Different Types of Corporate Responsibility. *Journal of Business Ethics*, 84, 325-339, 2009.

HAN, R.; HAN, P.; CAI, Z.; ZHAO, Z.; TANG, M. Kinetics and isotherms of Neutral Red adsorption on peanut husk. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 1035-1041, 2008.

HUANG, D.; WU, J.; WANG, L.; LIU, X.; MENG, J.; TANG, X.; TANG, C.; XU, J. Novel insight into adsorption and co-adsorption of heavy metal ions and an

organic pollutant by magnetic graphene nanomaterials in water. *Chemical Engineering Journal*, 358, 1399-1409, 2019.

IBÁ – INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. Histórico de desempenho. 2019. Disponível em: <https://www.iba.org/historico-de-desempenho>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

IBÁ – INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. Sumário executivo 2018. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

IBÁ – INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. Relatório anual 2016. 2016. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2016.pdf>. Acesso em: 28 de junho de 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da População do Brasil. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 20 de junho de 2019.

IKE, M.; DONOVAN, J. D.; TOPPLE, C.; MASLI, E. K. The process for selecting and prioritising corporate sustainability issues: Insights for achieving the Sustainable Development Goals. *Journal of Cleaner Production*, in press, 117661, 2019.

INGWERSEN, W.; GAUSMAN, M.; WEISBROD, A.; SENGUPTA, D.; LEE, S.; BARE, J.; ZANOLI, E.; BHANDER, G. S.; CEJA, M. Detailed life cycle assessment of Bounty® paper towel operations in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 131, 509-522, 2016.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, e New York, NY, USA, 582, 2012.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. 14040: Environmental Management e Life Cycle Assessment e Principles and Framework. *International Organization of Standardization*, Geneva, 2006a.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. Environmental Management e Life Cycle Assessment-requirements and Guidelines, EN ISO 14044:2006. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006b.

IUPAC – INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. Reporting physiosorption data for gas/solid system with special reference to the determination of surface área and porosity. *Pure & Applied Chemistry*. 57, 603-619, 1985.

JOLLIET, O.; MÜLLER-WENK, R.; BARE, J.; BRENT, A.; GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; ITSUBO, N.; PEÑA, C.; PENNINGTON, D.; POTTING, D.; REBTIZER, G.; STEWART, M.; HAES, H. U.; WEIDEMA, B. The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9, 394-399, 2004.

KAMBO, H. S.; DUTTA, A. Comparative evaluation of torrefaction and hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass for the production of solid biofuel. *Energy Conversion and Management*, 105, 746-755, 2015.

KASPRZYK-HORDEM, B.; DINSDALE, R. M.; GUWY, A. J. The occurrence of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs in surface water in South Wales, UK. *Water Research*, 42, 3498-3518, 2008.

KASPRZYK-HORDEM, B.; DINSDALE, R. M.; GUWY, A. J. Multi-residue method for the determination of basic/neutral pharmaceuticals and illicit drugs in surface water by solid-phase extraction and ultra performance liquid chromatography–positive electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1161, 132-145, 2007.

KEILUWEIT, M.; NICO, P.S.; JOHNSON, M.G.; KLEBER, M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science and Technology*, 44, 1247-1253, 2010.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S.; ASHTON, W.; CHAVEZ, F. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. *Journal of Cleaner Production*, 96, 30-43, 2015.

KOLPIN, D. W.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; THURMAN, E. M.; ZAUGG, S. D.; BARBER, L. B.; BUXTON, H. T. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999–2000: a national reconnaissance. *Environmental Science Technology*, 36, 1202–1211, 2002.

KORHONEN, J.; NUUR, C.; FELDMANN, A.; BIRKIE, S.E. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552, 2018.

KOLTOWSKI, M.; HIBER, I.; BUCHELI, T. D.; OLESZCZUK, P. Effect of steam activated biochar application to industrially contaminated soils on bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and ecotoxicity of soils. *Science of The Total Environment*, 566-567, 1023-1031, 2016.

KPMG. Sustainable Insight. Climate chance & sustainable services. 2012. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2012/03/sustainable-insights-march-2012.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2017.

KUMAR, A.; ARVIND, K. S.; PRITI, S. L.; SUMAN, D. S. M. Preparation, characterization and optimization for upgrading *Leucaena leucocephala* bark to biochar fuel with high energy yielding. *Energy*, 106, 743-756, 2016.

KUMAR, D.; PANT, K. K. Production and characterization of biocrude and biochar obtained from non-edible de-oiled seed cakes hydrothermal conversion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 115, 77-86, 2015.

KUO, T. C.; SMITH, S.; SMITH, G. C.; HUANG, S. H. A predictive product attribute driven eco-design process using depth-first search. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3201-3210, 2016.

LAURENT, A.; BAKAS, I.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; NIERO, M.; GENTIL, E.; HAUSCHILD, M.Z.; CHRISTENSEN, T.H. Review of LCA studies of solid waste management systems e Part I: lessons learned and perspectives. *Waste Management*, 34, 573-588, 2014a.

LAURENT, A.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; BAKAS, I.; NIERO, M.; GENTIL, E.; CHRISTENSEN, T. H.; HAUSCHILD, M.Z. Review of LCA studies of solid

waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste Management*, 34, 589-606, 2014b.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: Science and technology. *International Biochar Initiative*, London, Sterling, VA, 2, 2015.

LENTON, T. M.; HELD, H.; KRIEGLER, E.; HALL, J. W.; LUCHT, W.; RAHMSTORF, S.; SCHELLNHUBER, H. J. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 1786-1793, 2008.

LEVASSEUR, A.; CAVALETT, O.; FUGLESTVED, J. S.; GASSER, T.; JOHANSSON, D. J. A.; JØRGENSEN, S. V.; RAUGEI, M.; REISINGER, A.; SCHIVLEY, G.; STRØMMAN, A.; TANAKA, K.; CHERUBINI, F. Enhancing life cycle impact assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA. *Ecological Indicators*, 71, 163–174, 2016.

LI, X.; HANBLIM, D. Factors impacting on cleaner production: case studies of Chinese pharmaceutical manufacturers in Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*, 131, 121-132, 2016.

LI, Y.; ZHANG, S.; ZHANG, W.; XIONG, W.; YE, Q.; HOU, X.; WANG, C.; WANG, P. Life cycle assessment of advanced wastewater treatment processes: Involving 126 pharmaceuticals and personal care products in life cycle inventory. *Journal of Environmental Management*, 238, 442-450, 2019.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51, 2016.

LIN, S.; JUANG, R. Adsorption of phenol and its derivatives from water using synthetic resins and low-cost natural adsorbents: A review. *Journal of Environmental Management*, 90, 1336-1349, 2009.

LINO, H. F. C. A indústria da reciclagem e a questão ambiental. *Tese de Doutorado apresentada a USP*, São Paulo, 2011.

LOCATELLI, M. A.; SODRÉ, F. F.; JARDIM, W. F. Determination of Antibiotics in Brazilian Surface Waters Using Liquid Chromatography–Electrospray Tandem Mass Spectrometry. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 60, 385-393, 2011.

LUO, Y. I.; GUO, W.; NGO, H. H.; NGHIEM, L. D.; HAI, F. I.; ZHANG, J.; LIANG, S.; WANG, X. C. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 473-474, 619-641, 2014.

LUO, Y.; DURENKAMP, M.; DE NOBILI, M.; LIN, Q.; BROOKES, P.C. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 2304-2314, 2011.

MADON, I.; DREV, D.; LIKAR, J. Long-term risk assessments comparing environmental performance of different types of sanitary landfills. *Waste Management*, 96, 96-107, 2019.

MAHMOUD, M. E.; NABIL, G. M.; EL-MALLAH, N. M.; BASSIOUNY, H. I.; KUMAR, S.; ABDEL-FATTAH, T. M. Kinetics, isotherm, and thermodynamic studies of the adsorption of reactive red 195 A dye from water by modified Switchgrass Biochar adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 37, 156-167, 2016.

MÄKINEN, L.; ÄMMÄLÄ, A.; KÖRKKÖ, M.; NIINIMÄKI, J. The effects of recovering fibre and fine materials on sludge dewatering properties at a deinked pulp mill. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 11-16, 2013.

MANCINI, L.; VIDAL LEGAZ, B.; VIZZARRI, M.; WITTMER, D.; GRASSI, G.; PENNINGTON, D. Mapping the role of Raw Materials in Sustainable Development Goals. *Publications Office of the European Union*, 2019.

MÁRQUEZ, A. J. C.; CASSETARI FILHO, P. C.; RUTKOWSKI, E. W.; ISAAC, R. L. Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1102-1115, 2019.

MARTINS, C. L.; MELO, M. T.; PATO, M. V. Redesigning a food bank supply chain network in a triple bottom line context. *International Journal of Production Economics*, 214, 234-247, 2019.

MASCOLO, G.; BALEST, L.; CASSANO, D.; LAERA, G.; LOPEZ, A.; POLLICE, A.; SALERNO, C. Biodegradability of pharmaceutical industrial wastewater and formation of recalcitrant organic compounds during aerobic biological treatment. *Bioresource Technology*, 101, 2585-2591, 2010.

MASEL, R. I. Principles of adsorption and reaction on solid surfaces. *A Wiley interscience publication*, Urbana, Illinois, 1996.

MASTROIANNI, N.; BLEDA, M. J.; ALDA, M. L.; BARCELÓ D. Occurrence of drugs of abuse in surface water from four Spanish river basins: Spatial and temporal variations and environmental risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 316, 134-142, 2016.

MATAMOROS, V.; GUTIERREZ, R.; FERRER, I.; GARCIA, J.; MBAYONA, J. Capability of microalgae-based wastewater treatment systems to remove emerging organic contaminants: A pilot-scale study. *Journal of Hazardous Materials*, 288, 34-42, 2015.

MIHELICIC, J. R.; CRITTENDEN, J. C.; SHONNARD, D. R.; HOKANSON, D. R.; ZHANG, Q.; CHEN, H.; SORBY, S. A.; JAMES, V. U.; SUTHERLAND, J. W.; SCHNOOR, J. L. Sustainability science and engineering: the emergence of a new metadiscipline. *Environmental Science Technology*, 37, 5314-5324, 2003.

MINH, T. B.; LEUNG, H. W.; LOI, I. H.; CHAN, W. H.; SO, M. K.; MAO, J. Q.; CHOI, D.; LAM, J. C. W.; ZHENG, G.; MARTIN, M.; LEE, J. H. W.; LAM, K. S.; RICHARDSON, B. J. Antibiotics in the Hong Kong metropolitan area: Ubiquitous distribution and fate in Victoria Harbour. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1052-1062, 2009.

MISSIMER, M.; ROBERT, K. H.; BROMAN, G. I. A strategic approach to social sustainability e part 1: exploring the social system. *Journal of Cleaner Production*, 140, 32-41, 2017.

MITCHELL, P. J.; SIMPSON, A. J.; MYRNA, R. S.; SIMPSON, J. Shifts in microbial community and water-extractable organic matter composition with biochar amendment in a temperate forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 244-254, 2015.

MOHAMMADI, A.; VEISI, P. High adsorption performance of β -cyclodextrin-functionalized multi-walled carbon nanotubes for the removal of organic dyes from water and industrial wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Volume 6, Issue 4, August 2018, Pages 4634-4643

MOHAMMADI, A.; KAZEMIPOUR, M.; RANJBAR, H.; WALKER, R.B.; ANSARI, M. Amoxicillin removal from aqueous media using multi-walled carbon nanotubes. *Fullerenes Nanotubes Carbon Nanostructure*, 23, 165-169, 2015.

MOHAN, D.; SARSWAT, A.; OK, Y. S.; PITTMAN JR., C. U. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – A critical review. *Bioresource Technology*, 160, 191-202, 2014.

MOHAN, D.; PITTMAN, C.U.; STEELE, P.H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy Fuels*, 20, 848-889, 2006.

MONGKHONSIRI, G.; GANI, R.; MALAKUL, P.; ASSABUMRUNGRAT, S. Integration of the biorefinery concept for the development of sustainable processes for pulp and paper industry. *Computers & Chemical Engineering*, 119, 70-84, 2018.

MONTIEL, I.; DELGADO-CEBALLOS, J. Defining and measuring corporate sustainability: are we there yet? *Organization and Environmental*, 27, 113-139, 2014.

MOON, J. The contribution of corporate social responsibility to sustainable development. *Sustainable Development*, 15, 296-306, 2007.

MORENO, J. L. F.; DELAHAY, G.; FIGUERAS, F.; COQ, B. DRIFTS study of the nature and reactivity of the surface compounds formed by co-adsorption of NO, O₂ and propene on sulfated titania-supported rhodium catalysts. *Journal of Catalysis*. 236, 292-303, 2005.

MORSE, A.; JACKSON, A. Fate of amoxicillin in two water reclamation system. *Water, Air & Soil Pollution*, 157, 117-132, 2004.

MULROY, A. When the cure is the problem. *Water Environmental Technology*, 13, 32-37, 2001.

NAIDU, R.; ESPANA, V. A. A.; LIU, Y.; JIT, J. Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management. *Chemosphere*, 154, 350-357, 2016.

NAQVI, M.; YAN, J.; DAHLQUIST, E. Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review. *Bioresource Technology*, 101, 8001-8015, 2010.

NAZARET, S.; AMINOV, R. Role and prevalence of antibiotics and the related resistance genes in the environment. *Frontiers in Microbiology*, 5, 520, 2014.

OH, T. K.; CHOI, B.; SHINOGI, Y.; CHIKUSHI, J. Effect of pH conditions on actual and apparent fluoride adsorption by biochar in aqueous phase. *Water, Air, Soil Pollut*, 223, 3729-3738, 2012.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREIA, J. F.; SILVA, P. C.; SANCHES, A. G. O.; LUCATO, W. C. Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*. 228, 1514-1525, 2019.

ONU – UNITED NATIONS ORGANIZATION. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. *General Assembly. A/RES/70/1*, 2015. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em: 19 de julho de 2019.

PARK, I.; KNAEBEL, K. Adsorption breakthrough behavior: Unusual effects and possible causes. *Aiche Journal*, 38, 660-670, 1992.

PÄTÄRI, S.; TUPPURA, A.; TOPPINEN, A.; KORHONEN, J. Global sustainability megaforges in shaping the future of the European pulp and paper industry towards a bioeconomy. *Forest Policy and Economics*, 66, 38-46, 2016.

PAVLOVIC, D. M.; BABIC, S.; HORVAT, A. J. M.; KASTELAN-MACAN, M. Sample preparation in analysis of pharmaceuticals. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 26, 1062-1075, 2007.

PENG, H.; LIU, Y. A comprehensive analysis of cleaner production policies in China. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1138-1149, 2016.

PIOTTO, Z. C. Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – Estudo de Caso. *Tese de Doutorado apresentada a Escola Politécnica da USP*. São Paulo, 2003.

PLENS, A. C. C. Produção limpa: síntese de fibras de viscosa ativadas para remoção de fármacos presentes em água. Tese de Doutorado apresentada a UNIMEP, 2018.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Objetivos de desenvolvimento do milênio. 2010. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/pobreza_desigualdade>. Acesso em: 22 de outubro de 2016.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PELO MEIO AMBIENTE. Recycling: From E-waste to resources. *Relatório anual*, 2009.

PRABHASANKAR, V. P.; JOSHUA, D. I.; BALAKRISHNA, K.; SIDDIQUI, I. F.; TANIYASU, S.; YAMASHITA, N.; KANNAN, K.; AKIBA, M.; PRAVEENKUMARREDDY, Y.; GURUGE, K. S. Removal rates of antibiotics in four sewage treatment plants in South India. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 8679-8685, 2016.

PUBCHEN. US National Library of Medicine. 2017. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/#query=amoxicillin>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

PUTRA, E. K.; PRANOWO, R.; SUNARSO, J.; INDRASWATI, N.; ISMADJI, S. Performance of activated carbon and bentonite for adsorption of amoxicillin from wastewater: Mechanisms, isotherms and kinetics. *Water Research*, 43, 2419-2430, 2009.

QIAN, L. CHEN, B. Dual role of biochars as adsorbents for aluminum: the effects of oxygen-containing organic components and the scattering of silicate particles. *Environmental Science Technology*, 47, 8759-8768, 2013.

RAHIM, R.; RAMAN, A. A. Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. *Journal of Cleaner Production*, 101, 215-221, 2015.

RAJESHWARISIVARAJ, S.; SIVAKUMAR, P.; SENTHILKUMAR, I.; SUBB, I. Carbon from Cassava peel, an agricultural waste, as an adsorbent in the removal of dyes and metal ions from aqueous solution. *Bioresource Technology*, 80, 233-235, 2001.

REIS FILHO, R. W.; LUVIZOTTO-SANTOS, R.; VIEIRA, E. M. Poluentes Emergentes como Desreguladores Endócrinos. *Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology*, 2, 283-288, 2007.

RIVERA-UTRILLA, J.; SÁNCHEZ-POLO, M.; FERRO-GARCÍA, M. A.; PRADOS-JOYA, G.; OCAMPO-PÉREZ, O. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. *Chemosphere*, 93, 1268-1287, 2013.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. Planetary boundaries:exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14, 32-47, 2009.

RODRIGUES, A. E. Processos de adsorção em leito fixo: fundamentos. In: REINOSO, Francisco Rodríguez (Comp.). Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales. Madrid: *CYTED*, 1, 1-14, 2004.

ROSATI, F.; FARIA, L. G. D. Business contribution to the Sustainable Development Agenda: organizational factors related to early adoption of SDG reporting. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26, 588-597, 2019.

ROUQUEROL, F.; ROUQUEROL, J.; SING, K. Adsorption by powder and porous solids, *Acad. Press*, Londres, 1999.

ROUQUEROL, J.; AVNIR, D.; EVERETT, D. H.; FAIRBRIDGE, M.; HAYNES, M.; PERNICONE, N.; RAMSAY, F. D. F.; SING, K. S. W.; UNGER, K. K. Guidelines for the Characterization of Porous Solids. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 87, 1-9, 1994.

RUTHERFORD, D. W.; WERSHAW, R. L.; ROSTAD, C. E.; KELLY, C. N. Effect of formation conditions on biochars: Compositional and structural properties of cellulose, lignin, and pine biochars. *Biomass and Bioenergy*, 46, 693-701, 2012.

RYBERG, M. W.; OWSIANIAK, M.; RICHARDSON, K.; HAUSCHILD, M. Z. Challenges in implementing a Planetary Boundaries based Life-Cycle. Impact Assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 139, 450-459, 2016.

RAMCILOVIC-SUOMINEN, H. P. S. Sustainable development – a ‘selling point’ of the emerging EU bioeconomy policy framework? *Journal of Cleaner Production*, 172, 4170-4180, 2018.

SABESP – Tratamento de água. Disponível em: site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Tratamento_Agua_Impressao.pdf. Acesso em: 08 de Março de 2019.

SALMAN, J. M. Preparation of Mesoporous-Activated Carbon from Branches of Pomegranate Trees: Optimization on Removal of Methylene Blue Using Response Surface Methodology. *Journal of Chemistry*, 2013, 6, 2013.

SAPKOTA, A.; SAPKOTA, A. R.; KUCHARSKI, M.; BURKE, J.; MCKENZIE, S.; WALKER, P.; LAWRENCE, A. Aquaculture practices and potential human health risks: current knowledge and future priorities. *Environmental International*, 34, 1215-1226, 2008.

SEVERO, E. A.; GUIMARÃES, J. C. F.; DORION, E. C. H. Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries. *Journal of Cleaner Production*, 142, 87-97, 2017.

SHEN, Z.; ZHANG, Y.; JIN, F.; MCMILLAN, O.; TABAA, A. A. Qualitative and quantitative characterisation of adsorption mechanisms of lead on four biochars. *Science of The Total Environment*, 609, 1401-1410, 2017.

SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A. Indústrias de processos químicos. *Guanabara Koogan*, Rio de Janeiro, 4, 717p, 2014.

SILVA, D. A. L.; PAVAN, A. L. R.; OLIVEIRA, J. A.; OMETTO, A. R. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 93, 222-233, 2015.

SILVA, J. C. Cresce presença do eucalipto no Brasil. *Revista da Madeira*, 92, 61-66, 2005.

SIRÉS, I.; BRILLAS, E. Remediation of water pollution caused by pharmaceutical residues based on electrochemical separation and degradation technologies: a review. *Environmental International*, 40, 2012-2229, 2012.

SMISEK, M. CERNY, S. Active carbon: Manufacture, properties, and applications. *Analytical Chemistry*, 42, 81^a-81^a, 1970.

SMITH, A.; KERN, F.; RAVEN, R.; VERHEES, B. Spaces for sustainable innovation: Solar photovoltaic electricity in the UK. *Technological Forecasting and Social Change*. 81, 115-130, 2014.

SOHI, S.; LOEZ- CAPEL, S.; KRULL, E.; BOL, R. Biochar's roles in soil and climate change: a review of research needs. *CSIRO Land Water Science Report*, 05, 64-71, 2009.

SRINIVASANA, P; SARMAH, A. K.; SMERNIL, R.; DAS, O.; FARID, M.; GAO, W. A feasibility study of agricultural and sewage biomass as biochar, bioenergy and biocomposite feedstock: Production, characterization and potential applications. *Science of The Total Environment*, 512-513, 495-505, 2015.

STAWICKI, B.; READ, B. The Future of Paper Recycling in Europe: Opportunities and Limitations. *Greater Manchester*, Bury, 66-72, 2010.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTROM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; DE VRIES, W.;

DE WIT, C. A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; SÈORLIN, S. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 1-10, 2015.

STEFFEN, W.; CRUTZEN, J.; MCNEILL, J. R. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio*, 36, 614-621, 2007.

SUBEDI, B.; BALAKRISHNA, K.; SINHA, R. K.; YAMASHITA, N.; BALASUBRAMANIAN, V. G.; KANNAN, K. Mass loading and removal of pharmaceuticals and personal care products, including psychoactive and illicit drugs and artificial sweeteners, in five sewage treatment plants in India. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 2882-2891, 2015.

SUBEDI, B.; LEE, S.; MOON, H.; KANNAN, K. Emission of artificial sweeteners, select pharmaceuticals, and personal care products through sewage sludge from wastewater treatment plants in Korea. *Environment International*, 68, 33-40, 2014.

SUHR, K. I.; LETELIER-GORDO, C. O.; LUND, I. Anaerobic digestion of solid waste in RAS: effect of reactor type on the biochemical acidogenic potential (BAP) and assessment of the biochemical methane potential (BMP) by a batch assay. *Aquacultural Engineering*, 65, 65-71, 2015.

SULLIVAN, K.; THOMAS, S.; ROSANO, M. Using industrial ecology and strategic management concepts to pursue the Sustainable Development Goals. *Journal of Cleaner Production*, 174, 237-246, 2018.

SUN, L.; CHEN, D.; WAN, S.; YU, Z. Performance, kinetics, and equilibrium of methylene blue adsorption on biochar derived from eucalyptus saw dust modified with citric, tartaric, and acetic acids. *Bioresource Technology*, 198, 300-308, 2015.

TAHERAN, M.; NAGHDI, M.; BRAR, S. K.; VERMA, M.; SURAMPALLI, R. Y. Emerging contaminants: Here today, there tomorrow! *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 10, 122-126, 2018.

TAN, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70-85, 2015.

TAN, I. A. W.; HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L. Equilibrium and kinetic studies on basic dye adsorption by oil palm fibre activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 127, 111–119, 2007.

TAPIA-OROZCO, N.; IBARRA-CABRERA, R.; TECANTE, A.; GIMENO, M.; PARRA, R.; GARCIA-ARRAZOLA, R. Removal strategies for endocrine disrupting chemicals using cellulose-based materials as adsorbents: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 3122-3142, 2016.

THIRAMETOAKKHARA, C.; LERKKASEMSAN, N. Life cycle assessment of Diuron from cradle to grave: Case Study in Agave farm. *Journal of Cleaner Production*, *In Press*, 2019.

TIEN, C. Chapter 6 - Fixed-Bed Adsorption Models and Fixed-Bed Design Calculations. *Introduction to Adsorption: Basics, Analysis, and Applications*. 155-199, 2019.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 220, 235-260, 2003.

TITIRICI, M.; WHITE, R.; BRUN, N.; BUDARIN, V. L.; SU, D. S.; MONTE, F.; CLARK, J. H.; MACLACHLAN, M. J. Sustainable carbon materials. *Chemistry Society Review*, 44, 250-290, 2015.

TRIPATHI, M.; SAHU, J. N.; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481, 2016.

TSAI, W. T.; CHANG, C. Y.; LIN, M. C.; CHIEN, S. F.; SUN, H. F.; HSIEH, M. F. Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste bagasse by ZnCl₂ activation. *Chemosphere*, 45, 51–58, 2001.

UCHIMIYA, M. WARTELLE, L.H., KLASSON, K.T.; FORTIER, C.A.; LIMA, I.M. Influence of pyrolysis temperature of biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 59, 2501-2510, 2011.

UNDESA – UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. Sustainable development goals. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global guidance for life cycle impact assessment indicators. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*. 2016. Disponível em: <https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/993/files/original/LCIA-publication-preview.pdf?1488567549>. Acesso em: 12 de janeiro de 2018.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global guidance principles for life cycle assessment databases. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*, 2011. Disponível em: <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2011%20-%20Global%20Guidance%20Principles.pdf>. Acesso em: 25 de janeiro de 2018.

VAN EWIJK, S.; PARK, J. Y.; CHERTOW, M. R. Quantifying the system-wide recovery potential of waste in the global paper life cycle. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 48-60, 2018.

VERGARA, S. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. *Annual Review of Environmental and Resources*, 37, 277-309, 2012.

XU, X.; CAO, X.; ZHAO, L. Comparison of rice husk- and dairy manure-derived biochars for simultaneously removing heavy metals from aqueous solutions: Role of mineral components in biochars. *Chemosphere*, 92, 955-961, 2013.

WANG, J.; LIU, Q.; ZHANG, G.; LI, Z.; YANG, P.; JING, X.; ZHANG, M.; LIU, T.; JIANG, Z. Synthesis, sustained release properties of magnetically functionalized organic–inorganic materials: Amoxicillin anions intercalated magnetic layered double hydroxides via calcined precursors at room temperature. *Solid State Sciences*, 11, 1597-1601, 2009.

WARODELL, E.; LINDHOLM, V. Circular economy – the way to a more sustainable urban environment? A study of how conversion and a circular economic business model can benefit the aspects of sustainability. *Royal Institute of Technology*, 2016.

WATKINSON, A. J.; MURBY, E. J.; KOLPIN, D. W.; COSTANZO, S. D. The occurrence of antibiotics in an urban watershed: From wastewater to drinking water. *Science of The Total Environment*, 407, 2711-2723, 2009.

WEI, L.; XU, S.; ZHANG, H.; LIU, C.; ZHU, H. Characteristics of fast pyrolysis of biomass in a free fall reactor. *Fuel Process Technology*, 87, 863-871, 2006.

WIEDNER, K.; NAISSE, C.; RUMPEL, C.; POZZI, A.; WIECZOREK, P.; GLASER, B. Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization – what makes the difference, temperature or feedstock? *Organic Geochemistry*, 54, 91-100, 2013.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT DEVELOPMENT. Our Common Future. *Oxford University Press*, 1987.

WRP – THE WATER RESEARCH GROUP. Charting our water future. *Coughar opaque smouth*, 2009.

WU, F. C.; TSENG, R. L.; JUANG, R. S. Comparisons of porous and adsorption properties of carbons activated by steam and KOH. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 283, no. 1, pp. 49–56, 2005.

WWF – WORLD WIDE FUNDATION FOR NATURE. 2010. Disponível em: <http://www.worldwildlife.org/what/communityaction/people/partneringwith/WWFBinaryitem6053.pdf>. Acesso em 13 de Março de 2012.

YAN, Z.; YANG, H.; DONG, H.; MA, B.; SUN, H.; PAN, T.; JIANG, R.; ZHOU, R.; SHEN, J.; LIU, J.; LU, G. Occurrence and ecological risk assessment of organic micropollutants in the lower reaches of the Yangtze River, China: A case study of water diversion. *Environmental Pollution*, 239, 223-232, 2018.

YARGICOGLU, E. N.; SADASIVAM, B. Y.; REDDY, K. R.; SPOKAS, K. Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Waste Management*, 36, 256-268, 2015.

YAGHMAEIAN, K.; MOUSSAVI, G.; ALAHABADI, A. Removal of amoxicillin from contaminated water using NH₄Cl-activated carbon: Continuous flow fixed-bed adsorption and catalytic ozonation regeneration. *Chemical Engineering Journal*, 236, 538-544, 2014.

YUAN, F.; HU, C.; HU, X.; QU, J.; YANG, M. Degradation of selected pharmaceuticals in aqueous solution with UV and UV/H₂O₂. *Water Research*, 43, 1766-1774, 2009.

ZAZOULI, M. A.; SUSANTO, H.; NASSERI, S.; ULBRICHT, M. Influences of solution chemistry and polymeric natural organic matter on the removal of aquatic pharmaceutical residuals by nanofiltration. *Water Research*, 43, 3270-3280, 2009.

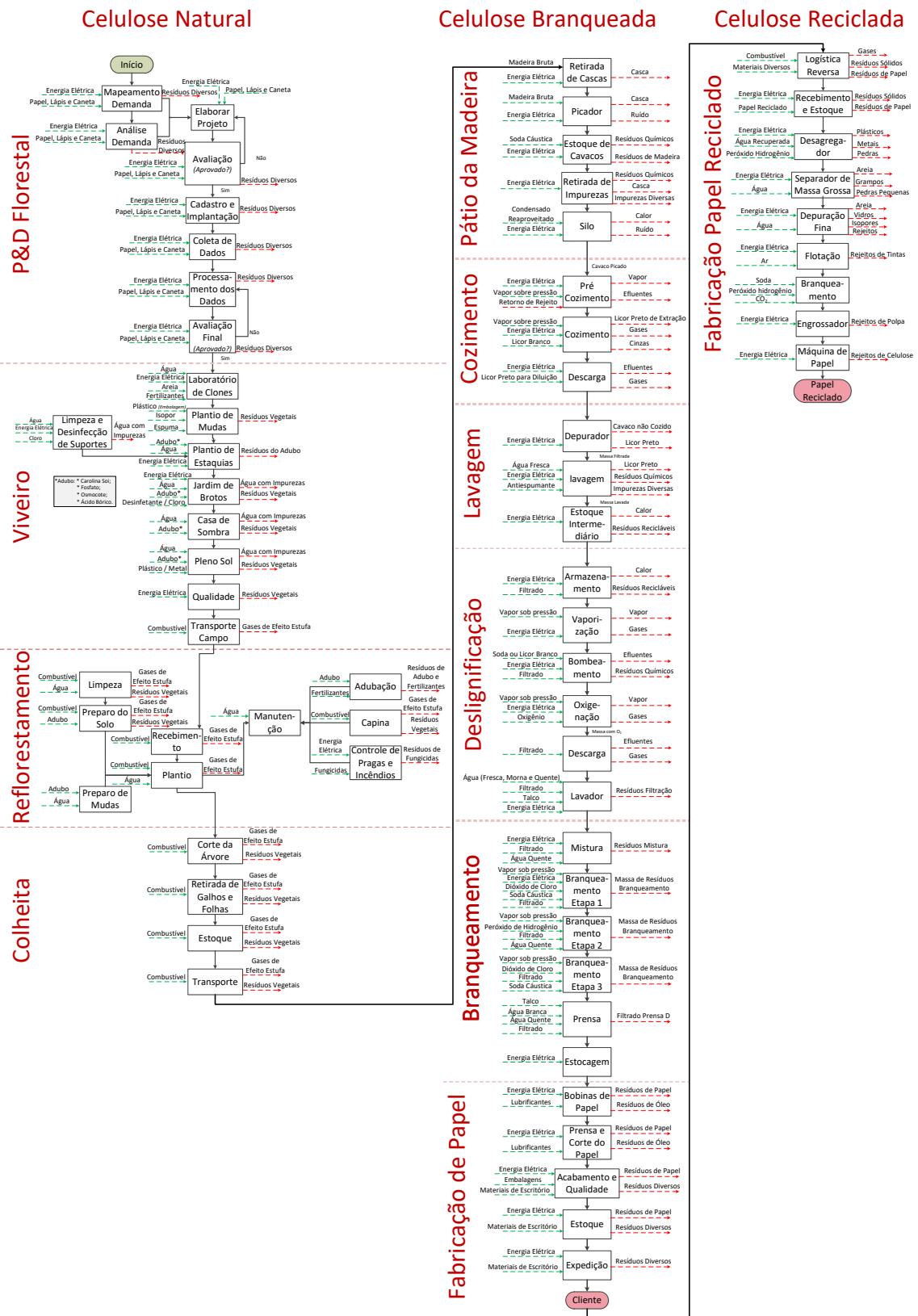
ZHANG, X.; LI, W.; LU, A. Designed porous carbon materials for efficient CO₂ adsorption and separation. *New Carbon Materials*, 30, 481-501, 2015.

ZHANG, L. R.; WANG, Y. M.; CHEN, B. Y.; CHENG, N. N. Neurotoxicity and toxicokinetics of norfloxacin in conscious rats. *Acta Pharmacology Sinica*, 24, 605-609, 2003.

ZHENG, H.; WANG, Z.; ZHAO, J.; HERBERT, S.; XING, B. Sorption of antibiotic sulfamethoxazole varies with biochars produced at different temperatures. *Environmental Pollution*, 181, 60-67, 2013.

ZHOU, Y.; ZHANG, L.; CHENG, Z. Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 739-762, 2015.

APÊNDICE A – CICLO DE VIDA DA CELULOSE



APÊNDICE B – LISTA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CELULOSE NATURAL

Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Significância do Impacto	Medida Mitigadora
Destinação de resíduos perigosos (óleos e graxas, EPI contaminados, embalagens contaminadas)	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte de embalagens contaminadas, resíduos de petróleo e resíduos sólidos. Venda de óleo usado
Destinação de resíduos perigosos (óleos e graxas, EPI contaminados, embalagens contaminadas)	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	I	Descarte de embalagens contaminadas, resíduos de petróleo e resíduos sólidos. Venda de óleo usado
Destinação de toalhas contaminadas	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade do solo	I	Armazena no almoxarifado em local apropriado
Produção da Lignina	Vazamento/derrame de ácido na estocagem	Alteração da qualidade da água/solo	I	Área de contenção
Produção da Lignina	Vazamento/derrame de ácido na dosagem	Alteração da qualidade da água/solo	I	Área de contenção
Produção da Lignina	Vazamento/derrame de licor preto no bombeamento	Alteração da qualidade da água/solo	I	Manutenção preventiva
Produção licor/lignina oxidada	Vazamento/derrame de licor preto no bombeamento	Alteração da qualidade da água/solo	I	Manutenção preventiva
Produção licor/lignina oxidada	Vazamento de Oxigênio	Risco de incêndio	I	Manutenção preventiva
Pirólise madeira	Vazamento/derrame dos produtos da pirólise	Alteração da qualidade da água/solo	I	Plano de ação corretiva
Combate do mato (Químico)	Aplicação de agrotóxicos	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Utilização de agrotóxicos com baixa toxicidade e realização conforme recomendação do fabricante
Combate do mato (Químico)	Descarte de embalagens contaminadas	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Retirado pelo prestador de serviço de jardinagem e enviado para representante autorizado
Combate do mato (Químico)	EPI'S contaminados	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Retirado pelo prestador de serviço de jardinagem para lavadeira especializada. Em caso de descarte é enviado para representante autorizado
Combate do mato (Químico)	Vazamento de Químicos	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Utilização de equipamento de contenção
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado)	Emissão de ruído	Incômodo vizinhança	I	Nível de ruído gerado não é suficiente para gerar incômodo à vizinhança
Corte de grama/poda de árvores/transporte (Equipamentos a combustível)	Consumo combustível	Alteração da qualidade do ar	I	Conscientização do uso do equipamento
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado)	Vazamento de Combustível	Alteração da qualidade do solo	I	Recipiente com mangueira apropriada para evitar vazamento

Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado)	Incêndio	Alteração da qualidade do ar e do solo	I	Recipiente de acordo com normas de segurança do fabricante (container ante explosivo)
Jardinagem em geral	Resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo	I	Não ocorre devido utilização de equipamento apropriado sem necessidade da utilização do aspecto
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Atividades de escritório em geral (ar condicionado)	Vazamento de gás de refrigeração	Alteração da qualidade do ar	I	Plano de manutenção elaborado e executado pelo departamento de manutenção
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Dedetização em geral	Descarte de embalagens	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do serviço que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Combate do mato (Químico) - Reflorestamento	Aplicação de agrotóxicos	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Utilização de agrotóxicos com baixa toxicidade e realização conforme recomendação do fabricante
Combate do mato (Químico) - Reflorestamento	Descarte de embalagens contaminadas	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Retirado pelo prestador de serviço de jardinagem e enviado para representante autorizado
Combate do mato (Químico) - Reflorestamento	EPI'S contaminados	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Retirado pelo prestador de serviço de jardinagem para lavadeira especializada. Em caso de descarte é enviado para representante autorizado
Combate do mato (Químico) - Reflorestamento	Vazamento de Químicos	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Utilização de equipamento de contenção
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Reflorestamento	Emissão de ruído	Incômodo vizinhança	I	Nível de ruído gerado não é suficiente para gerar incômodo à vizinhança
Corte de grama/poda de árvores/transporte (Equipamentos a combustível) - Reflorestamento	Consumo combustível	Alteração da qualidade do ar	I	Conscientização do uso do equipamento
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Reflorestamento	Vazamento de Combustível	Alteração da qualidade do solo	I	Recipiente com mangueira apropriada para evitar vazamento

Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Reflorestamento	Incêndio	Alteração da qualidade do ar e do solo	I	Recipiente de acordo com normas de segurança do fabricante (container ante explosivo)
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel) - Reflorestamento	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel) - Reflorestamento	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Colheita	Geração de EPI'S	Alteração da qualidade da água e do solo	I	Retirado pelo prestador de serviço de jardinagem para lavadeira especializada. Em caso de descarte é enviado para representante autorizado
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Colheita	Emissão de ruído	Incômodo vizinhança	I	Nível de ruído gerado não é suficiente para gerar incômodo à vizinhança
Corte de grama/poda de árvores/transporte (Equipamentos a combustível) - Colheita	Consumo combustível	Alteração da qualidade do ar	I	Conscientização do uso do equipamento
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Colheita	Vazamento de Combustível	Alteração da qualidade do solo	I	Recipiente com mangueira apropriada para evitar vazamento
Corte de grama/poda de árvores (Mecanizado) - Colheita	Incêndio	Alteração da qualidade do ar e do solo	I	Recipiente de acordo com normas de segurança do fabricante (container ante explosivo)
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel) - Colheita	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel) - Colheita	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Venda de resíduos sólidos	Disposição de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Venda para empresas de reciclagem e controle da quantidade através de relatórios
Movimentação de produto acabado ou em processo	Geração de resíduos não perigosos - pneus inservíveis	Alteração da qualidade do solo	II	Enviados para a empresa processadora destes resíduos.
Disposição de óleo usado/contaminados	Geração de resíduo perigoso - óleo lubrificante empilhadeiras	Alteração da qualidade da água	II	Enviados para a empresa processadora destes resíduos.
Disposição de óleo usado/contaminados	Geração de resíduo perigoso - óleo lubrificante empilhadeiras	Alteração da qualidade do solo	II	Enviados para a empresa processadora destes resíduos.
Venda de óleo usado	Vazamento acidental de resíduo perigoso	Alteração da qualidade da água	II	Descarte de embalagens contaminadas, resíduos de petróleo e resíduos sólidos. Venda de óleo usado
Venda de óleo usado	Vazamento acidental de resíduo perigoso	Alteração da qualidade do solo	II	Descarte de embalagens contaminadas, resíduos de petróleo e resíduos sólidos. Venda de óleo usado
Transporte por veículos a diesel	Emissões de gases para atmosfera	Alteração da qualidade do ar	II	Verificação de fumaça de motores a diesel.
Recebimento de materiais diversos	Geração de resíduos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Descarte em área de coleta seletiva

Recebimento e movimentação de produtos químicos	Vazamento acidental de produtos químicos perigosos no pátio de veículos	Alteração da qualidade do solo	II	O pátio de veículos tem caída para as boca de lobos do pátio que são direcionadas a uma caixa de contenção e sua destinação é para o tratamento de efluentes.
Recebimento e movimentação de produtos químicos	Vazamento acidental de produtos químicos perigosos no pátio de veículos	Alteração da qualidade da água	II	O pátio de veículos tem caída para as boca de lobos do pátio que são direcionadas a uma caixa de contenção e sua destinação é para o tratamento de efluentes.
Recebimento e movimentação de produtos químicos	Vazamento acidental de produtos químicos perigosos no pátio de veículos	Alteração da qualidade Do ar	II	O pátio de veículos tem caída para as boca de lobos do pátio que são direcionadas a uma caixa de contenção e sua destinação é para o tratamento de efluentes.
Destinação de baterias	Geração de resíduos perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Descarte de embalagens contaminadas, resíduos de petróleo e resíduos sólidos. Venda de óleo usado
Movimentação de produto acabado ou em processo	Emissão de ruídos por veículos	Incômodo às comunidades do entorno	II	O ruído ultrapassa os limites da legislação brasileira, porém a fábrica não se localiza próximo a comunidade, restringindo-se a um problema interno, que é tratado nos procedimento do departamento de segurança do trabalho.
Armazenamento e manuseio de varredura de celulose	Geração / Descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Venda para empresas de reciclagem e controle da quantidade. Venda de Aparas
Disposição de resíduos de lâmpadas de mercúrio	Descarte de resíduos de lâmpadas fluorescentes	Alteração da qualidade do solo	II	Descontaminação de lâmpadas de mercúrio, fluorescentes, vapor, sódio e luz mista
Análises Químicas em Geral	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água.	II	Tratamento de ETE
Análises Químicas em Geral	Geração de resíduo sólido não perigoso	Alteração da qualidade do solo	II	Descarte nos coletores
Calcinação em forno mufla	Emissão de gases	Alteração da qualidade do ar.	II	Sistema de exaustão
Lavagem de vidraria	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água.	II	Tratamento de ETE
Produção da Lignina	Emissão de gases	Alteração da qualidade do ar.	II	Sistema de exaustão nos tanques
Produção da Lignina	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Recirculação e circuito fechado
Produção da Lignina	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água.	II	Tratamento de ETE
Produção licor/lignina oxidada	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização com relação ao consumo deste recurso natural
Produção licor/lignina oxidada	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água.	II	Tratamento de ETE
Pirólise madeira	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água.	II	Tratamento de ETE
Pirólise madeira	Emissão de gases de combustão	Alteração da qualidade do ar.	II	Pesquisa e desenvolvimento para otimização do processo de pirólise
Produção celulose microfibrilada	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização com relação ao consumo deste recurso natural

Produção celulose microfibrilada	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água.	II	Tratamento de ETE
Jardinagem em geral	Descarte de resíduos de vegetação	Alteração do aspecto visual	II	Material enviado para área interna de resíduos vegetais
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Emissão de fuligem e gás carbônico (fumaça preta)	Alteração da qualidade do ar	II	Medição semestral da fumaça e manutenção de bicos e bombas quando necessário
Atividades de escritório em geral	Descarte de materiais recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em coletores identificados de acordo com a Coleta Seletiva
Atividades de escritório em geral	Descarte de materiais não recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em coletores identificados de acordo com a Coleta Seletiva
Atividades de escritório em geral	Uso de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre consumo
Utilização de banheiros em geral	Descarte de resíduos sólidos	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em coletores identificados de acordo com a Coleta Seletiva
Limpeza e higienização em geral	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre consumo, utilização de baldes e panos para limpeza. Manutenção periódica em torneiras e válvulas e substituição das válvulas hídras por caixa acoplada / Tratamento ETE
Limpeza e higienização de banheiros em geral	Recolhimento de resíduos sólidos	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em ponto de Coleta Seletiva
Limpeza e higienização em geral	Descarte de embalagens de produtos de limpeza	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em ponto de Coleta Seletiva
Varredura de ruas em geral	Geração resíduo de varrição	Alteração da qualidade do solo	II	Depósito em área interna (Pátio de Casca)
Retirada de material reciclável	Descarte de material reciclável da fábrica	Alteração da qualidade do solo	II	Cronograma de retirada diária e disposição do material na caçamba
Retirada de material não reciclável	Descarte de material não reciclável	Alteração da qualidade do solo e contaminação da água	II	Cronograma de retirada diária e disposição no Aterro Sanitário externo
Varredura de ruas em geral	Geração resíduo de varrição	Alteração da qualidade do solo	II	Depósito em área interna (Pátio de Casca)
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Utilização de equipamento de pressão e esguichos e mangueiras em boas condições de uso
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Emissão de fuligem e gás carbônico (fumaça preta)	Alteração da qualidade do ar	II	Medição semestral da fumaça e manutenção de bicos e bombas quando necessário
Dedetização em geral	Aplicação de inseticida	Alteração da qualidade do solo	II	Contratação de empresa especializada com certificados vigentes, métodos padronizados e pessoal habilitado.
Reflorestamento em geral	Descarte de resíduos de vegetação	Alteração do aspecto visual	II	Material enviado para área interna de resíduos vegetais
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel) - Reflorestamento	Emissão de fuligem e gás carbônico (fumaça preta)	Alteração da qualidade do ar	II	Medição semestral da fumaça e manutenção de bicos e bombas quando necessário
Manutenção vegetação - Reflorestamento	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre consumo

Reflorestamento em geral - Colheita	Descarte de resíduos de vegetação	Alteração do aspecto visual	II	Material enviado para área interna de resíduos vegetais
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel) - Colheita	Emissão de fuligem e gás carbônico (fumaça preta)	Alteração da qualidade do ar	II	Medição semestral da fumaça e manutenção de bicos e bombas quando necessário
Manutenção vegetação - Colheita	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre consumo
Movimentação de produto acabado ou em processo	Consumo de GLP	Redução da disponibilidade de recursos naturais	III	Manutenção preventiva das máquinas
Vendas de tambores contaminados com resíduos químicos	Geração / Descarte de resíduos sólidos perigosos (classe 1)	Alteração da qualidade do solo	III	Venda de tambores contaminados
Disposição de bobonas e container contaminados com resíduos químicos	Geração / Descarte de resíduos sólidos perigosos (classe 1)	Alteração da qualidade do solo	III	Devolvido para o fornecedor
Disposição de varredura de material contaminado	Geração / Descarte de resíduos sólidos perigosos (classe 1)	Alteração da qualidade do solo	III	Descarte em áreas apropriadas

APÊNDICE C – LISTA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CELULOSE BRANQUEADA E PAPEL

Atividade	Aspecto	Impacto	Significância do Impacto	Medida de Mitigação
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Detetização em geral	Descarte de embalagens	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do serviço que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Planta Química	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	I	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem do stripper - geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	I	Água de lavagem é contida e retorna para o processo
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem do concentrador - geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	I	Água de lavagem é contida e retorna para o processo
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem dos vasos de selo e poço quente - geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	I	Água de lavagem é contida e retorna para o processo
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem do tanque de condensado contaminado - uso de água	Alteração da qualidade da água	I	Raramente esses equipamentos são lavados com água
Geração de vapor	Descarte de efluente - fundo de caldeira	Contaminação da água	I	As canaletas são interligadas com o tratamento de efluentes
Geração de vapor	Aplicação de químicos - vazamento de produtos - sulfato de sódio	Alteração da qualidade do solo	I	Caso haja vazamento, será contido, recolhido e retornado ao processo
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - vazamento - inibidor de corrosão	Alteração da qualidade da água	I	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - vazamento - ácido fórmico	Alteração da qualidade da água	I	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - vazamento - polímero floculante	Alteração da qualidade da água	I	existência de bacia de contenção
Caustificação	Rompimento de tubulação - derrame acidental de licor	Alteração da qualidade do solo	I	todas as tubulações existentes da área estão dentro da bacia de contenção
Caustificação	Rompimento de tubulação - derrame acidental de químicos	Alteração da qualidade do solo	I	todos os containers existentes da área estão dentro da bacia de contenção
Produção de Cal	Dosagem de produtos químicos - vazamento	Alteração da qualidade do solo	I	produto está armazenado dentro de bacia de contenção

Produção de Cal	Rompimento de tubulação	Alteração da qualidade do solo	I	todas as tubulações existentes da área estão dentro da bacia de contenção
Produção de Cal	Queima de óleo combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	I	controle operacional
Produção de Cal	Queima de óleo combustível - emissões atmosféricas	Alteração da qualidade do ar	I	monitoramento por instrumentos específicos
Tratamento de água de caldeira	Dosagem de produtos químicos - vazamento de produtos	Alteração da qualidade da água	I	Existência de bacia de contenção e interligação com o tratamento de efluentes.
Regeneração de vasos de resina	Dosagem de produtos químicos - vazamento	Alteração da qualidade da água	I	As canaletas são interligadas com o tratamento de efluentes
Troca do carvão do filtro	Geração de resíduos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	I	O resíduo é descartado no tratamento de efluentes
Troca do carvão do filtro	Descarte de embalagens	alteração da qualidade do solo	I	Coleta seletiva
Lavagem de filtros de carvão	Geração de efluente	Alteração da qualidade da água	I	Descartado para tratamento de efluentes
Geração de vapor	Descarte de efluente - fundo de caldeira	Contaminação da água	I	As canaletas são interligadas com o tratamento de efluentes
Atividades Operacionais/ manutenção	Consumo de óleo - Avaliação referente a reposição de óleo lubrificante das unidades hidráulicas/equipamentos em geral	Redução de disponibilidade de recursos naturais	I	Tratamento na ETE /Monitoramento
Geração de vapor	Descarte de efluente - fundo de caldeira	Contaminação da água	I	As canaletas são interligadas com o tratamento de efluentes
Geração de vapor	Incêndio / explosão	Alteração biota	I	Manutenções preventivas nas partes de pressão das caldeiras e monitoramento contínuo nas operações
Resíduos	Deslizamento ou erosão na área de preservação	Danos à vegetação de APP	I	Monitoramento visual das áreas de APP
Armazenamento, manuseio e carregamento - expedição de celulose úmida	Lixiviação de resíduos de celulose para efluentes	Alteração da qualidade da água	I	Faz a varredura do local, dispõem em bags para venda ou retorno ao processo / Tratamento ETE
Análise física - Preto porométrico.	Resíduos de tinta, algodão e papel higiênico	Alteração da qualidade do solo	I	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise física - Preto porométrico.	Derramamento de tinta	Alteração da qualidade do solo	I	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química	Descarte do resíduo de papel com tinta	Alteração da qualidade do solo	I	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza em geral	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre consumo, utilização de baldes e panos para limpeza. Manutenção periódica em torneiras e válvulas e substituição das válvulas hídras por caixa acoplada / Tratamento ETE
Limpeza em geral	Descarte de embalagens de produtos de limpeza	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em ponto de Coleta Seletiva
Limpeza de banheiros	Recolhimento de resíduos sólidos	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em ponto de Coleta Seletiva
Limpeza áreas externas	Geração resíduo de varrição	Alteração da qualidade do solo	II	Depósito em área interna (Pátio de Casca)
Retirada de material reciclável	Descarte de material reciclável da fábrica	Alteração da qualidade do solo	II	Cronograma de retirada diária e disposição do material na caçamba

Retirada de material não reciclável	Descarte de material não reciclável	Alteração da qualidade do solo e contaminação da água	II	Cronograma de retirada diária e disposição no Aterro Sanitário externo
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Utilização de equipamento de pressão e esguichos e mangueiras em boas condições de uso
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Emissão de fuligem e gás carbônico (fumaça preta)	Alteração da qualidade do ar	II	Medição semestral da fumaça utilizando Escala de Ringelman e manutenção de bicos e bombas quando necessário
Dedetização em geral	Aplicação de inseticida	Alteração da qualidade do solo	II	Contratação de empresa especializada com certificados vigentes, métodos padronizados e pessoal habilitado.
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão de Gases	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Consumo de Combustíveis Fósseis	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Manutenção e otimização do processo
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio no Depósito de Madeira	Alteração do meio ambiente	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio no Depósito de Madeira	Alteração da qualidade do ar	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio (Máquinas)	Alteração do meio ambiente	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio (Máquinas)	Alteração da qualidade do ar	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Vazamento / Derramamento Acidentais	Alteração da qualidade do solo	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial e acionamento departamento ETE
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão de Ruídos e Vibrações	Incômodo a vizinhança	II	Monitoramento e controle
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão de Material Particulado - (Poeira)	Alteração da Qualidade do Ar	II	Monitoramento e controle
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão Acidental de Gás de Refrigeração - (Ar Condicionado)	Alteração da qualidade do ar	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Compactação de Solo	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento constante
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos	Alteração da qualidade do solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de Madeira	Emissão de Gases de Escapamento (veículo automotor)	Alteração da Qualidade do Ar	II	Procedimento de medição da emissão de fumaça dos veículos
Preparação de Madeira - Abastecimento de maquinas	Derramamento de acidental de óleo	Alteração da qualidade do solo	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	É feito controle pela área de matérias para requisição e devolução das tolhas (quantidade requisitada deve ser a mesma quantidade devolvida), a área de matérias encaminha essas toalhas para empresa especializada em descontaminação
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Os resíduos são encaminhados para a área de materiais para descarte correto
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Os resíduos de construção civil é contratada empresa especializada para descarte

Digestor	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Digestor	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Digestor	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - Filtro Cartucho, e resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Digestor	Emissão controlada de gases	Alteração da Qualidade do Ar	II	Controle do Sistema e acionamento do setor de Gás Natural
Digestor	Emissão sem controle de gases	Alteração da Qualidade do Ar / Incomodo da comunidade ao entorno	II	Controle do Sistema e acionamento do setor de Gás Natural
Digestor	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Digestor	Derrame acidental de licor	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Digestor	Vazamento de radiação ionizante	Alteração do meio ambiente (local)	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Digestor	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	II	Plano de Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - Filtro Bag, Filtro Cartucho, Rejeitos (Palitos e Areia) e resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Lavagem / Depuração A / B e C	Emissão controlada de gases	Alteração da Qualidade do Ar	II	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração A / B e C	Derrame acidental de licor	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Branqueamento A / B e C	Derrame acidental de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Desaguadora	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Desaguadora	Derrame acidental de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial

Armazenamento e consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Limpeza de filtros / tanques / Poço efluente	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades operacionais - Secadora de Celulose	Geração de efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais/ domésticos	Alteração da Qualidade da Água	II	Tratamento na ETE
Substituição de Vestimentas	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Secagem de Celulose	Uso de vapor: Refere-se a avaliação do consumo de vapor usado no processo de secagem da celulose.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento consumo de específico vapor
Limpezas secador	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Formação e Amarração de fardos Celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Identificação de fardos de celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Uso de energia - Refere-se a energia usada no processo da Secadora / salas administrativas.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose	Geração de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de Resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Substituição de lâmpadas	Geração e descarte de Lâmpadas queimadas	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Caixa de contenção de óleos e graxas, monitoramento da vazão e Tratamento na ETE
Consumo de óleo diesel no gerador de emergência	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Uso racional recursos
Queima de combustível fóssil no gerador de emergência	Geração de efluentes gasoso	Alteração da qualidade do ar	II	Manutenção preventiva do gerador
Vazamento de óleo diesel do gerador de emergência	Geração de efluentes líquido	Alteração da qualidade do solo / água	II	Bacia de contenção para manutenção preventiva
Planta Química	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem

Planta Química	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Planta Química	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - Filtro Bag, Filtro Cartucho, Big Bag do Talco e resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem do stripper - uso de água	redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Procedimentos específicos para essa tarefa
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem do concentrador - uso de água	redução da disponibilidade de recursos naturais	II	A lavagem dos concentradores é realizada com licor preto fraco, esporadicamente é lavado com água
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem dos vasos de selo e poço quente - uso de água	redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre a utilização do recurso natural
Manutenção do sistema de evaporação	Lavagem do tanque de condensado contaminado - geração de efluente	Alteração da qualidade da água	II	Água de lavagem é contida e retorna para o processo
Evaporação	Uso de água	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Manutenção preventiva nas torres de resfriamento
Evaporação	Geração de resíduos recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	Coleta seletiva
Evaporação	Rompimento de linhas - derrame acidental de licor	Alteração da qualidade do solo	II	Manutenção preventiva e área para contenção
Evaporação	Consumo de energia elétrica	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Maior disponibilidade das caldeiras para geração de energia térmica
Geração de vapor	Consumo de combustível (óleo)	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Maior disponibilidade operacional das caldeiras, com licor, reduzindo ao máximo a utilização do óleo combustível
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima SO ₂	Alteração da qualidade do ar	II	Otimização na combustão das caldeiras
Geração de vapor	Geração de ruído	Incômodo a vizinhança	II	Manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Incêndio / explosão	Alteração biota	II	Manutenções preventivas nas partes de pressão das caldeiras e monitoramento contínuo nas operações
Geração de vapor	Descarte de resíduos recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	Coleta seletiva
Geração de vapor	Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Maior disponibilidade das caldeiras para geração de energia térmica
Geração de vapor	Descarte de cinzas	Alteração da qualidade do solo	II	Todo o descarte de cinza é retornado ao processo
Queima de Licor Preto	Dissolução do smelt - rompimento do tanque de dissolução	Alteração da qualidade do solo	II	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo das variáveis de nível e densidade no tanque
Manutenção do Sistema de geração de vapor	Lavagem de equipamentos - uso de água	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Otimização do tempo de lavagem das caldeiras
Manutenção do Sistema de geração de vapor	Lavagem de equipamentos - descarte de efluente	Contaminação da água	II	A água utilizada na lavagem será tratada na ETE

Manutenção do Sistema de geração de vapor	Limpeza dos tanques de mistura - uso de água	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Maior utilização de licor fraco para limpeza desses tanques, fazendo apenas o polimento com água
Manutenção do Sistema de geração de vapor	Limpeza dos tanques de mistura - descarte de efluente	Contaminação da água	II	Licor e água de lavagem são contidos e retornam para o processo
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - vazamento - soda	Alteração da qualidade da água	II	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - vazamento - sulfeto	Alteração da qualidade da água	II	bacia de contenção e tanque reserva
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - vazamento - cal virgem	Alteração da qualidade da água	II	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - licor branco forte	Alteração da qualidade do solo	II	bacia de contenção e tanque reserva
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - sulfeto	Alteração da qualidade do solo	II	bacia de contenção e tanque reserva
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - licor branco fraco	Alteração da qualidade do solo	II	bacia de contenção e tanque reserva
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - licor verde	Alteração da qualidade do solo	II	bacia de contenção e tanque reserva
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - lama de cal	Alteração da qualidade do solo	II	bacia de contenção e tanque lavador de lama
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - ácido fórmico	Alteração da qualidade do solo	II	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - inibidor de corrosão	Alteração da qualidade do solo	II	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - polímero floculante	Alteração da qualidade do solo	II	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - armazenamento - cal virgem	Alteração da qualidade do solo	II	existência de bacia de contenção
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - descarte de embalagens - ácido fórmico	Alteração da qualidade do solo	II	devolução ao fabricante
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - descarte de embalagens - inibidor de corrosão	Alteração da qualidade do solo	II	devolução ao fabricante
Caustificação	Dosagem de produtos químicos - descarte de embalagens - polímero floculante	Alteração da qualidade do solo	II	saco de papel reciclável
Caustificação	Geração de resíduos recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	coleta seletiva
Caustificação	Geração de resíduos sólidos perigosos - dregs	Alteração da qualidade do solo	II	manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Caustificação	Transporte de resíduos sólidos perigosos - dregs	Alteração da qualidade do solo	II	esses resíduos são movimentados internamente para área de disposição intermediária e posteriormente destinados para usos sustentáveis.
Caustificação	Vazamento de gases / vapores	Alteração da qualidade do ar	II	manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Caustificação	Geração de odor	Alteração da qualidade do ar	II	monitoramento contínuo
Caustificação	Geração de ruído	Incômodo a vizinhança	II	monitoramento contínuo

Caustificação	Geração de resíduos sólidos perigosos - grits	Alteração da qualidade do solo	II	manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Caustificação	Transporte de resíduos sólidos perigosos - grits	Alteração da qualidade do solo	II	esses resíduos são movimentados internamente para área de disposição intermediária e posteriormente destinados para usos sustentáveis.
Manutenção do Sistema de Caustificação	lavagem dos equipamentos sistema de cal - geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	os efluentes gerados são coletados e tratados em um lavador de lama
Manutenção do Sistema de Caustificação	lavagem dos equipamentos sistema de cal - uso de água	Diminuição da disponibilidade dos recursos naturais	II	os efluentes gerados são coletados e tratados em um lavador de lama
Manutenção do Sistema de Caustificação	lavagem dos equipamentos licor branco - geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	os efluentes gerados são coletados e tratados em um lavador de lama
Manutenção do Sistema de Caustificação	lavagem dos equipamentos licor branco - uso de água	Diminuição da disponibilidade dos recursos naturais	II	os efluentes gerados são coletados e tratados em um lavador de lama
Manutenção do Sistema de Caustificação	lavagem dos equipamentos licor verde - geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	os efluentes gerados são enviados a um tanque para reaproveitamento
Manutenção do Sistema de Caustificação	lavagem dos equipamentos licor verde - uso de água	Diminuição da disponibilidade dos recursos naturais	II	os efluentes gerados são enviados a um tanque para reaproveitamento
Produção de Cal	Uso de gás natural	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	controle operacional
Produção de Cal	Geração de resíduos sólidos não perigosos - carbonato de cálcio	Alteração da qualidade do solo	II	manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Produção de Cal	Transporte de resíduos não perigosos - carbonato de cálcio	Alteração da qualidade do solo	II	esses resíduos são movimentados internamente para área de disposição intermediária e posteriormente destinados para usos sustentáveis.
Produção de Cal	Transporte de resíduos não perigosos - carbonato de cálcio - emissão de gases de escapamento	Alteração da qualidade do ar	II	controle e medição de emissão de fumaça preta do escapamento do veículo.
Produção de Cal	Queima de metanol - emissões de gases	Alteração da qualidade do ar	II	controles operacionais e monitoramento contínuo
Produção de Cal	Dosagem de produtos químicos - armazenamento	Alteração da qualidade do solo	II	produto está armazenado dentro de bacia de contenção
Produção de Cal	Dosagem de produtos químicos - descarte de embalagens	alteração da qualidade do solo	II	a embalagem é devolvida ao fornecedor
Produção de Cal	Geração e transporte de resíduos sólidos - lama de cal	Alteração da qualidade do solo	II	esses resíduos são movimentados internamente para área de disposição intermediária e posteriormente destinados para usos sustentáveis.
Produção de Cal	Transporte de resíduos sólidos - lama de cal - emissão de gases de escapamento	Alteração da qualidade do ar	II	controle e medição de emissão de fumaça preta do escapamento do veículo.
Produção de Cal	Consumo de energia elétrica	redução da disponibilidade de recursos naturais	II	produzimos parte da energia que é utilizada na fábrica
Produção de Cal	Elevação da temperatura do ambiente	Incômodos ao público interno	II	monitoramento da temperatura
Produção de Cal	Emissão de ruídos	Incômodos a vizinhança	II	monitoramento contínuo

Produção de Cal	Uso de água	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Produção de Cal	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	efluentes são reaproveitados em tanques de água e lavador de lama
Produção de Cal	Geração de odor	Alteração da qualidade do ar	II	monitoramento por instrumentos específicos
Produção de Cal	Emissões atmosféricas - particulados	Alteração da qualidade do ar	II	monitoramento por instrumentos específicos
Produção de Cal	Queima de gases não condensáveis concentrados	Alteração da qualidade do ar	II	controles operacionais e monitoramento contínuo
Produção de Cal	Poeira	Alteração da qualidade do ar	II	controle operacional
Tratamento de água de caldeira	Dosagem de produtos químicos - descarte de embalagens	Alteração da qualidade do solo	II	Recolhimento de embalagens feito pelo setor de materiais
Tratamento de água de caldeira	Dosagem de produtos químicos - rompimento de linha	Alteração da qualidade do solo	II	Existência de bacia de contenção e interligação com o tratamento de efluentes.
Tratamento de água de caldeira	Dosagem de produtos químicos - armazenamento	Alteração da qualidade do solo	II	Existência de bacia de contenção e interligação com o tratamento de efluentes.
Tratamento de água de caldeira	Uso de água	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Fechamento de circuito com recuperação de condensado
Tratamento de água de caldeira	Uso de energia elétrica	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Produzimos parte da energia que é utilizada na fábrica
Regeneração de vasos de resina	Dosagem de produtos químicos - geração de efluente	Alteração da qualidade da água	II	Os efluentes são neutralizados e encaminhados para tratamento de efluentes
Troca de filtro cartucho	Geração de resíduos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Coleta seletiva
Geração de vapor	Consumo de combustível (óleo)	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	O óleo é combustível auxiliar, utilizado eventualmente, e o combustível principal é a madeira.
Geração de vapor	Uso ou consumo de produtos ou subprodutos florestais (cavacos)	diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Queima de madeira reflorestada
Geração de vapor	Geração de ruído	Incômodo a vizinhança	II	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Incêndio / explosão	Alteração biota	II	Manutenções preventivas nas partes de pressão das caldeiras e monitoramento contínuo nas operações
Geração de vapor	Descarte de resíduos recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	Coleta seletiva
Geração de vapor	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Fechamento de circuito com recuperação de condensado
Geração de vapor	Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Produzimos parte da energia que é utilizada na fábrica
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - particulados	Alteração da qualidade do ar	II	Existe limite de controle e monitoramento contínuo.
Geração de vapor	Descarte de cinzas	Alteração da qualidade do solo	II	Descartado via caçambas
Geração de energia elétrica	Descarte de vapor - emissão de ruído	Incômodo a vizinhança	II	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo

Armazenamento/ Consumo de Produtos Químicos na área (Carbonato de Cálcio, Caulim, Amidos, Alvejantes, Sílica, Polímero, PAC, anti-estático, auxiliar ótico, sal, agente de colagem/drenagem dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais - Fabricação de papel	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Procedimento operacional e parâmetros de processo
Fabricação de Papel revestido MP1	Geração de Efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	II	Sistema de Ultrafiltração / Reaproveitamento processo
Fabricação de Papel revestido MP1	Vazamentos acidentais de Gás Natural	Alteração qualidade do ar	II	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Fabricação de Papel revestido MP1	Emissões atmosféricas fontes fixas	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Fabricação de Papel	Geração e descarte de Resíduos sólidos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem ou descarte adequado
Substituição de vestimentas	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de tubetes	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de tubetes	Geração de poeira de tubetes	Alteração qualidade do ar	II	Monitoramento e controle
Formação de Bobinas-Bobinadeiras	Geração e Descarte de Resíduos Sólidos	Alteração meio ambiente	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem ou descarte adequado
Formação de Bobinas-Bobinadeiras	Uso de plástico para embalagem da Bobinas	Alteração meio ambiente	II	Otimização do processo e monitoramento para evitar perdas
Atividades operacionais - Fabricação de papel	Uso de Energia	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Atividades operacionais - Fabricação de papel	Uso de Vapor	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Substituição lâmpadas na área	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Tratamento na ETE / Monitoramento
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Manutenção	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Armazenamento / Consumo de Produtos Químicos na área (Caulim, Alvejantes, dispersante, Látex, lubrificante, Carbonato, Carboflex, amido, dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem

Limpezas de tanques de Matérias primas	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Operação do Sistema de ultrafiltração	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Reutilização no processo fabricação de tinta
Revestimento do Papel	Emissão de odores	Alteração qualidade do ar	II	monitoramento por instrumentos específicos
Revestimento do Papel	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Coleta / Segregação / disposição adequada dos resíduos
Secagem Papel Revestido	Emissões atmosféricas	Alteração qualidade do ar	II	Existe limite de controle e monitoramento contínuo.
Secagem Papel Revestido	Vazamentos acidentais de gás natural	Alteração qualidade do ar	II	Manutenções preventivas e Plano de Atendimento a Emergências
Formação de Bobinas-Bobinadeiras	Geração e Descarte de Resíduos Sólidos	Alteração meio ambiente	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Formação de Bobinas-Bobinadeiras	Uso de plástico para embalagem da Bobinas	Alteração meio ambiente	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de tubetes	Geração de poeira de tubetes	Alteração qualidade do ar	II	Existe limite de controle e monitoramento contínuo.
Preparação de tubetes	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades operacionais - Revestimento de papel	Uso de Energia	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de consumo específico
Atividades operacionais - Revestimento de papel	Uso de Vapor	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de consumo específico
Substituição lâmpadas na área	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Tratamento na ETE / Monitoramento
Atividades Operacionais/ Manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Manutenção	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Processo de Revestimento de Papel	Incêndio / Explosão	Alteração qualidade meio ambiente	II	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers, PAE
Preparação bobinas / Cortadeiras	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Embaladeiras - Embalagens de resmas	Consumo embalagens em geral - Filme Stretch/ Cola/ envoltórios/cantoneiras/fitas etc	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Embaladeiras de resmas - Encaixotamento /paletização produto	Consumo de madeira - Avaliação referente ao uso de paletes de madeira no processo de acondicionamento de fardos do papel	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Exigência junto aos fornecedores de registro junto ao IBAMA para extração de madeira própria ou de seu fornecedor da madeira (Procedência da Madeira).
Etiquetadora e Rotuladora - Identificação do produto	Geração e descarte de resíduos sólidos de impressão	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem

Atividades Operacionais - Acabamento Papel	Consumo de água - Avaliação referente ao uso de água industrial, incluindo limpeza de área / equipamentos, desagregação de refugo. Inclui também uso de água potável.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Procedimentos operacionais e controle de consumo / Monitoramento consumo geral em relação a outorga
Atividades Operacionais - Acabamento Papel	Geração de efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais/ domésticos - Refere-se ao efluente doméstico que lançado continuamente no sistema de tratamento de efluente.	Alteração da qualidade da água	II	Tratamento na ETE / Procedimentos operacionais
Atividades Operacionais - Acabamento Papel	Uso de Energia - Refere-se a energia usada no processo de Acabamento de papel/ salas administrativas)	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Substituição lâmpadas na área	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Tratamento na ETE /Monitoramento
Processo de Acabamento de Papel	Geração de poeiras - Avaliação referente a poeira produzida pelo processo de corte do papel no Acabamento.	Alteração qualidade do ar	II	Existe limite de controle e monitoramento contínuo.
Processo de Acabamento de Papel	Incêndio/ Explosão	Alteração qualidade meio ambiente	II	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers
Processo de Acabamento de Papel	Geração de ruído - Avaliação referente ao ruído produzido pelos equipamentos do processo de Acabamento de papel.	Incômodo a comunidade	II	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade
Lubrificação de Máquinas	Derramamentos acidentais de óleo hidráulico na área de Acabamento.	Alteração da qualidade de solo	II	Contenção / Coleta resíduo e kit de emergência
Geração de vapor	Consumo de combustível (gás natural)	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais	II	Otimização do processo para redução do consumo de gás natural
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima	Alteração da qualidade do ar	II	Fonte de queima secundária. monitoramento contínuo quando está queimando gás.
Geração de vapor	Geração de ruído	Incômodo a vizinhança	II	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Descarte de resíduos recicláveis	Alteração da qualidade do solo	II	Coleta seletiva
Geração de vapor	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Fechamento de circuito com recuperação de condensado
Geração de vapor	Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Armazenamento e consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Limpeza de filtros / tanques / Poço efluente	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem

Atividades operacionais Secadora de Celulose	Geração de efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais/ domésticos	Alteração da Qualidade da Água	II	Tratamento na ETE
Substituição de Vestimentas	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Secagem de Celulose	Uso de vapor - Refere-se a avaliação do consumo de vapor usado no processo de secagem da celulose.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento consumo de específico vapor
Limpezas secador	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Formação e Amarração de fardos Celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Identificação de fardos de celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Uso de energia - Refere-se a energia usada no processo da Secadora / salas administrativas.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Geração de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais / Atividades de manutenção em geral	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Substituição de lâmpadas	Geração e descarte de Lâmpadas queimadas	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Caixa de contenção de óleos e graxas / Tratamento na ETE
Consumo de óleo diesel no gerador de emergência	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Uso racional recursos
Queima de combustível fóssil no gerador de emergência	Geração de efluentes gasoso	Alteração da qualidade do ar	II	Manutenção preventiva do gerador.
Vazamento de óleo diesel do gerador de emergência	Geração de efluentes líquido	Alteração da qualidade do solo / água	II	Bacia de contenção / Manutenção preventiva
Resíduos	Coleta e manuseio de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - geração de poeira	Incômodos a comunidade	II	Recomenda-se observar a direção do vento e velocidade de tráfego mais baixa para essa atividade.
Resíduos	Manuseio interno de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - geração de poeira	Alteração na qualidade do ar (incômodos aos colaboradores - interno)	II	Recomenda-se observar os colaboradores próximos a atividade e a velocidade baixa de tráfego na unidade.
Resíduos	Transporte de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - emissão de gases de escapamento	Alteração da qualidade do ar	II	Controle e medição de emissão de fumaça preta do escapamento do veículo.
Resíduos	Transporte de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - emissão de ruído	Incômodos a comunidade	II	Manter a originalidade de fábrica do sistema de gases de combustão do veículo.
Resíduos	Recalque do percolato da área de armazenamento de resíduos - infiltração de percolato	Alteração da qualidade do solo e das	II	O efluente é tratado por decantação na lagoa de percolato da área de resíduos.

		águas subterrâneas		
Resíduos	Acesso de animais	Morte dos animais	II	Se houver presença de animais mortos será avaliado as ações que devem ser tomadas
Armazenamento, manuseio e carregamento - expedição de celulose úmida	Geração / Descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Faz a varredura do local, dispõem em bags para venda ou retorno ao processo
Movimentação de produto acabado ou em processo	Emissão de ruídos por veículos - Empilhadeiras	Incômodo às comunidades do entorno	II	Acesso a área operacional apenas utilizando EPI
Movimentação de produto acabado ou em processo	Emissões Atmosféricas por Empilhadeiras	Alteração da qualidade do ar	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Movimentação de produto acabado ou em processo	Geração de resíduos - pneus inservíveis	Alteração da qualidade do solo	II	Os pneus são armazenados no armazém avançado e posteriormente são devolvidos ao fornecedor da empresa terceira operante.
Movimentação de produto acabado ou em processo	Geração de resíduo perigoso	Alteração da qualidade da água e do solo	II	Armazenamento em recipiente apropriado para posterior retirada por empresa especializada.
Análise química (papel)	Emissão de gases	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle contínuo
Análises físicas	Derramamento de tinta ao realizar o teste	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análises físicas - Limpeza	Resíduos de solvente e papel higiênico	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análises físicas - Papel revestido e não revestido	Descarte de papel revestido e não revestido	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise química - Peso de revestimento.	Derramamento acidental da solução de etileno	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - Peso de revestimento.	Descarte da solução de etileno	Alteração da qualidade da água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - Peso de revestimento.	Descarte do resíduo com etileno	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Atividade operacional	Consumo de energia elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Limpeza geral	Descarte de papel toalha; papel higiênico	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Atividades Operacional	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Análise Química - carga mineral papel	Descarte de resíduos (cinza)	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise física - teste funcional	Descarte de amostra	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza geral - laboratório	Descarte de resíduo não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza geral - laboratório	Consumo de Água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Laboratório - Atividades operacionais	Consumo de energia elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica

Análise física - teste funcional	odor	Alteração de qualidade do ar	II	Monitoramento e controle contínuo
Análise física - teste funcional	Descarte de embalagem	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise física - freeness	Descarte de massa celulose	Alteração na qualidade do solo.	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise física - freeness	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Análise química - Alcalinidade	Descarte de residual da análise.	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Análise Química - cloro	Descarte de residual da análise.	Alteração da qualidade do solo e efluentes.	II	Tratamento ETE.
Análise química - Retenção total	Descarte da amostra	Alteração da qualidade efluentes	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - Carga mineral	Descarte da cinza	Alteração da qualidade no solo.	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise química - Amido Interno e Externo	Descarte da amostra	Alteração da qualidade efluentes	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - Concentração de soda	Descarte de residual da análise.	Alteração da qualidade de efluentes	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Atividades Operacionais	Consumo de energia elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Análises físicas - Consistência	Descarte da amostra	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza Geral - Laboratório	Descarte vidraria, plástico, metal e papel	Alteração da qualidade do solo	II	Coleta seletiva
Limpeza Geral - Laboratório	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Análise química (retenção)	Emissão de gases	Alteração da qualidade do ar	II	uso de coifa
Análise física - celulose	Descarte de massa celulose	Alteração na qualidade do efluentes	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise química - Demanda iônica	Descarte de amostra e reagente catiônica	Alteração na qualidade do efluentes	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química DQO	Descarte de solução com metais pesados	alteração na qualidade do solo.	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Lavagem de vidrarias	Descarte de soluções com substâncias químicas na rede hídrica	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química/ licores	Descarte de soluções químicas na rede hídrica	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análises químicas/ licores	Emissão de gases	alteração da qualidade do ar	II	Uso na capela
Análises de Lama do forno de cal	Resíduos de elementos químicos	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza do laboratório	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural

Atividades Operacionais	Consumo de energia elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Filtragem de licores	Descarte de licores na rede hídrica	Alteração da qualidade do efluentes	II	Tratamento ETE.
Atividades Operacionais	Descarte de papel toalha; papel de filtro com resíduo	Alteração da qualidade de solo	II	Tratamento ETE.
Análises químicas / determinação de alumínio	Resíduos de elementos químicos (cianeto)	Alteração da qualidade do efluentes	II	coleta seletiva
Análises químicas / determinação de cloretos	Resíduos de elementos químicos de metal pesado (nitrito de prata)	Alteração da qualidade solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análises químicas (sílica, dureza, lama) com soluções voláteis	Residual de amônia	Alteração na qualidade do ar	II	(Uso de Capela)
Análise física - Gramatura	Descarte de amostra de celulose seca	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise física - teor seco	Descarte de amostra de celulose seca	Alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise física - Consistência	Descarte da amostra - folhas de resíduos	Alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise física - sujidade	Descarte de amostra de celulose seca	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Atividade Operacional	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Análise física - perdas de fibras	Descarte da amostra	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - Demanda iônica	Descarte de amostra e reagente catiônica	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - viscosidade	Descarte da amostra - reagente Etileno	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Atividades Operacionais	Consumo de energia	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Análise física - perdas de fibras	Descarte do resíduo	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análises - Alvura, Consistência, Teor seco	Resíduos de massa celulósica, descarte coleta seletiva	alteração na qualidade do solo.	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - Viscosidade	Descarte de amostra com reagente etileno	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Massa Celulósica Úmida	Resíduos de massa celulósica.	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Física - Densidade da madeira (cavaco)	Descarte da amostra - madeira (cavaco).	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - Kappa	Descarte da amostra - resíduo químico (titulação).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - DQO	Descarte de solução com metais pesados	Alteração da qualidade do solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Sulfidez	Resíduos de elementos químicos de metal pesado (nitrito de prata)	Alteração da qualidade do solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Residual de Peróxido	Descarte de soluções com substâncias químicas (titulação)	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE

Análise Química - Residual de Dióxido	Descarte de soluções com substâncias químicas (titulação).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Física/Química - Perda de Fibras, Contagem Pich, Sujidade.	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Física/Química - Perda de Fibras, Contagem Pich, Sujidade.	Resíduos de massa celulósica.	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - Concentração de Soda (Licor Branco e Hidróxido de Sódio)	Descarte de soluções com substâncias químicas (titulação).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Lavagem de vidrarias	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Atividades Operacionais	Consumo de energia elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Atividades Operacionais	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Limpeza do laboratório	Descarte produtos de limpeza (detergente e sabonete líquido)	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Análises - Alvura, Consistência, Teor seco	Resíduos de massa celulósica.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - DQO e Perda de Sulfato	Descarte de solução com metais pesados	Alteração da qualidade do solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Condutividade e pH.	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Concentração de Soda (Licor Branco e Hidróxido de Sódio)	Descarte de amostra.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza do laboratório	Descarte de papel toalha	Alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise de matéria prima	Descarte análise matéria prima (Caulim, Carbonato de Cálcio, Carboflex, Látex, Alvejante, Antiespumante, Dispersante, Fluidificante, Resina e Lubrificante).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Lavagem de vidrarias	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza geral no laboratório	Descarte de resíduos sólidos, reagente, plástico, vidro, papel toalha	Alteração na qualidade de solo	II	Coleta seletiva.
Limpeza do laboratório	Descarte de papel toalha	Alteração na qualidade do solo	II	Coleta seletiva.
Análise química DBO	Descarte resíduo.	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Atividades operacionais	Consumo de Energia Elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Atividades operacionais	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural

Análise química - matéria prima	Descarte de clorato de sódio	Alteração de qualidade do solo .	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Preparação de solução	Descarte de resíduo da preparação	Alteração da qualidade do efluentes.	II	Tratamento ETE.
Água potável e destilada	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Análise química - matéria prima	Descarte da amostra sulfato de magnésio	Alteração da qualidade do efluentes.	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - matéria prima	Descarte do resíduo da análise do sulfato de magnésio (titulação).	Alteração da qualidade do efluentes.	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise química - matéria prima	Descarte de cloreto de sódio	Alteração da qualidade do efluentes.	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Preparação de solução	Descarte de resíduo da preparação (frascos de plástico e vidro)	Alteração de qualidade do solo .	II	Coleta seletiva.
Análise física - classificação de cavacos	Descarte de amostra de cavacos	Alteração de qualidade do solo .	II	Volta para área produtiva.
Retífica e afiação de facas	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos 50 litros de Fluido Sintético Químico utilizado na Retífica e Afiação de Facas. Após o uso é drenado para a Estação de Tratamento de Efluentes.	Alteração da qualidade da água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Usinagem de peças	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos de Óleo de Corte utilizado na Usinagem de Peças; após o uso é drenado para a Estação de Tratamento de Efluentes.	Alteração da qualidade da água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Usinagem de peças	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos Resíduo: Óleo Solúvel de Corte utilizado na Usinagem de Peças; após o uso é drenado para a Estação de Tratamento de Efluentes.	Alteração da qualidade da água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Pinturas em geral	Vazamento de gases Voláteis de tintas e solventes emanados durante as pinturas executadas em pequenas manutenções e durante as paradas de fábrica. Gases emanados durante as atividades de pintura.	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle contínuo
Soldagem de peças	Vazamento de gases Emissões para atmosfera - Gases de soldagem - Este aspecto tem tratamento especial sob o ponto de vista de Saúde Ocupacional a partir de EPIs específicos para esta operação. Gases resultantes das Atividades de Soldagem .	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle contínuo

Manutenção de equipamentos	Vazamento de gases Emissões para Atmosfera - Gases de Soldagem e do Maçarico Oxi-acetileno - Acetileno e Oxigênio. Os volumes de gases discriminados acima, são queimados por mês na utilização do Maçarico Oxi- Acetilênico, em serviços esporádicos de manutenção na empresa.	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle contínuo
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Geração de Resíduos de Madeira	Alteração da qualidade do solo	III	Envio para área da caldeira como insumo de caldeira
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Descarte de EPI's Contaminados com Óleos e Graxas	Alteração da Qualidade do Solo	III	Descarte material contaminado
Preparação de Madeira	Consumo de Combustível Fóssil	Escassez de Recurso Natural	III	O abastecimento das máquinas é feito pela empresa contratada da área
Preparação de Madeira	Consumo de matéria prima - Madeira	Redução da Disponibilidade	III	Parâmetros de processo e monitoramento de indicadores
Preparação de Madeira	Consumo de Água	Escassez de Recurso Natural	III	Procedimento operacional e parâmetros de processo
Preparação de Madeira	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Preparação de Madeira	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Procedimento operacional e parâmetros de processo
Preparação de Madeira	Geração de Ruído	Incomodo de Comunidades	III	Padrão de Instalação de Engenharia
Digestor	Consumo de Água	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de água
Digestor	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Digestor	Uso de matéria prima - produtos químicos	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Consumo de Água	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Uso de matéria prima - produtos químicos	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração e Branqueamento A / B e C	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Acompanhamento de vazão e acionamento do setor da ETE
Lavagem / Depuração A / B e C	Emissão sem controle de gases	Alteração da Qualidade do Ar / Incomodo da comunidade ao entorno	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Branqueamento A / B e C	Emissão de gases ácidos para atmosfera	Alteração da qualidade do ar	III	Aplicação de Químicos na Lavagem, Deslignificação e Branqueamento
Desaguadora	Descarte de Embalagem Produto Químico	Alteração da Qualidade do Solo	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Desaguadora	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Controle Operacional da Desaguadora Federal e acionamento da ETE

Consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Bacias de contenção / Procedimentos de Descarga de Produtos Químicos
Atividades operacionais - Secadora de Celulose.	Consumo de água - Avaliação referente ao uso de água industrial no processo da Secadora.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Monitoramento de Consumo Específico
Secagem de Celulose	Emissões atmosféricas fontes fixas	Alteração da qualidade de ar	III	Monitoramento da temperatura do ar de exaustão
Controle de variáveis de qualidade celulose - Scanner	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	III	Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante e Monitoramento
Controle de variáveis de qualidade da celulose seca - Scanner	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante e Monitoramento
Processo de Secagem	Geração de ruído - Avaliação referente ao ruído produzido pelos equipamentos do processo de Secagem/ descarga de vapor.	Incomodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade através do CAPI - Canal Aberto com Partes Interessadas
Processo de Secagem	Incêndio / Explosão	Alteração do meio ambiente	III	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers
Planta Química	Consumo de Água	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Planta Química	Vazamento de gases / Vapores	Alteração da qualidade do ar	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Planta Química	Uso de matéria prima - produtos químicos	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Planta Química	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Planta Química	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Acompanhamento através da malha de controle de nível do poço de efluentes
Manutenção do sistema de evaporação	Drenagem do tanque de condensado contaminado - emissões de gases	Alteração da qualidade do ar	III	Manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Evaporação	Geração de efluente	Alteração da qualidade da água	III	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Evaporação	Vazamento de gases / vapores	Alteração da qualidade do ar	III	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo
Evaporação	Emissão de ruído	Incômodos a vizinhança	III	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo
Evaporação	Geração de odor	Alteração da qualidade do ar	III	Manutenção preventiva e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima - tanque dissolvedor	Alteração da qualidade do ar	III	Maior disponibilidade do lavador de gases e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima Nox	Alteração da qualidade do ar	III	Otimização na combustão das caldeiras
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima TRS	Alteração da qualidade do ar	III	Otimização na combustão das caldeiras e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima CO ₂	Alteração da qualidade do ar	III	Otimização na combustão das caldeiras e monitoramento contínuo

Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima CO ₂	Alteração da qualidade do ar	III	Otimização na combustão das caldeiras
Geração de vapor	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	III	Fechamento de circuito com recuperação de condensado
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - particulados	Alteração da qualidade do ar	III	Manutenções preventivas periódicas e monitoramento contínuo
Geração de vapor	Aplicação de químicos - vazamento de produtos - sulfato de sódio	Alteração da qualidade da água	III	Caso haja vazamento, será contido, recolhido e retornado ao processo
Queima de Licor Preto	Geração de subproduto de fundo de caldeira (smelt)	Alteração da qualidade do solo	III	O smelt é transformado em licor verde que será processado na Caustificação
Caustificação	Uso de água	Diminuição da disponibilidade dos recursos naturais	III	utilizado condensado do processo de evaporação.
Caustificação	Uso de energia elétrica	Diminuição da disponibilidade dos recursos naturais	III	produzimos parte da energia que é utilizada na fábrica
Caustificação	Transporte de resíduos sólidos perigosos - dregs - emissões de gases de escapamento	Alteração da qualidade do ar	III	controle e medição de emissão de fumaça preta do escapamento do veículo.
Geração de vapor	Emissões atmosféricas - gases de queima	alteração da qualidade do ar	III	Existe limite de controle e monitoramento contínuo.
Consumo de Produtos Químicos na área (Carbonato de Cálcio, Caulim, Amidos, Alvejantes, Sílica, Polímero, PAC, anti-estático, auxiliar ótico, sal, agente de colagem/drenagem dentre outros)	Consumo de Matérias-primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Atividades Operacionais - Fabricação de papel	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	III	Tratamento na ETE / Monitoramento
Realização de Boil-out	Geração de Efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	III	Procedimentos operacionais de boil out/ comunicação com ETE / Retenção em tanques com drenagem controlada
Fabricação de Papel revestido MP1	Uso de combustível	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Consumo consciente e controle de perdas
Controle de variáveis de qualidade papel - Scanners	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	III	Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante e Monitoramento
Controle de variáveis de qualidade papel - Scanners	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Processo de fabricação de Papel	Geração de ruído	Incômodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade através do CAPI - Canal Aberto com Partes Interessadas.
Processo de fabricação de Papel	Incêndio/ Explosão	Alteração qualidade meio ambiente	III	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers, PAE

Consumo de Produtos Químicos usados (Caulim, Alvejantes, dispersante, espessante, Látex, lubrificante, Carbonato, Carboflex, amido, dentre outros)	Consumo matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Armazenamento / Consumo de Produtos Químicos na área (Caulim, Alvejantes, dispersante, espessante, Látex, Lubrificante, Carbonato, Carboflex, amido, dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Coleta resíduos / Procedimentos de Descarga e Preparação de das matérias primas / Tratamento de ETE
Realização de Boil-out Aplicadoras Tinta / limpeza de membranas do sistema de ultrafiltração	Geração de Efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	III	Procedimentos operacionais de boil out/ comunicação com ETE / Retenção em tanques com drenagem controlada (MP)
Secagem Papel Revestido	Consumo de combustível	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Manutenção preventiva e controle de perdas
Controle de variáveis de qualidade papel - Scanners	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Atividades Operacionais - Revestimento de papel	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Monitoramento consumo geral em relação a outorga
Atividades operacionais - Revestimento de papel	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade do efluente a ser tratado	III	Monitoramento das variáveis / Tratamento ETE
Atividades Operacionais/Atividades de Manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Processo de Revestimento de Papel	Geração de ruído	Incômodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade
Operação sistemas de Identificação do produto	Geração e descarte de resíduos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Armazenamento de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Bacias de contenção / Procedimentos de Descarga de Produtos Químicos
Atividades operacionais - Secadora de Celulose.	Consumo de água - Avaliação referente ao uso de água industrial no processo da Secadora.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Monitoramento de Consumo específico

Secagem de Celulose	Emissões atmosféricas fontes fixas	Alteração da qualidade de ar	III	Monitoramento da temperatura do ar de exaustão
Controle de variáveis de qualidade celulose - Scanner	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Controle de variáveis de qualidade da celulose seca - Scanner	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de Resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Processo de Secagem	Geração de ruído - Avaliação referente ao ruído produzido pelos equipamentos do processo de Secagem/ descarga de vapor.	Incomodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade através do CAPI - Canal Aberto com Partes Interessadas
Resíduos	Estocagem de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio	Alteração da qualidade das águas subterrâneas e solo	III	Esses resíduos são movimentados internamente para área de disposição intermediária e posteriormente destinados para usos sustentáveis.
Resíduos	Descarga de chorume	Alteração da qualidade do solo e das águas subterrâneas	III	Manutenção periódica dos mangotes, descarga em área de contenção e destinação ao tratamento de efluentes.
Movimentação de produto acabado ou em processo	Consumo de GLP	Redução da disponibilidade de recursos naturais	III	Manutenção preventiva das máquinas
Análise Química DQO	Descarte de solução com metais pesados	alteração na qualidade do solo	III	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Lavagem de peças e equipamentos	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos	Alteração da qualidade da água	III	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Corte/soldagem/montagem de peças e equipamentos	Descarte de resíduos sólidos não perigosos (Classe II) Resíduos Sólidos: Sucatas Metálicas (retalhos de chapas, pedaços de tubos, vergalhões, cantoneiras, vigas e barras), pontas de eletrodos, borras de solda e maçarico, embalagens de eletrodos, lixas, rebolos, discos de corte e desbaste, lâminas de serra, toalhas recicláveis, lã de rocha, fibra cerâmica.	Alteração da qualidade do solo	III	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Usinagem de peças / manutenções em geral	Descarte de resíduos sólidos perigosos (Classe I) Resíduos Sólidos de Usinagem: Cavacos e Sobras de Materiais Metálicos provenientes de usinagem, ferramentas inutilizadas: brocas, fresas, machos, ferramentas de torno usadas, rebolos; Embalagem de papelão e plástico, toalhas recicláveis impregnadas com óleo, EPI's contaminados; graxas e produtos químicos.	Alteração da qualidade do solo	III	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado

Retífica e afiação de facas	Descarte de resíduos sólidos não perigosos (Classe II) Resíduos Compostos de Material Abrasivo e particulares ferrosas, facas de aço inutilizadas, rebolos e restos de segmentos, madeira, embalagens de papelão e plástico, toalhas recicláveis.	Alteração da qualidade do solo	III	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Lavagem de peças e equipamentos	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos	Alteração da qualidade da água	III	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Lavagem de peças e equipamentos	Descarte de resíduos sólidos perigosos (Classe I) Resíduos Sólidos: Toalhas Recicláveis, Luvas de PVC, Lixas. Os resíduos de óleo e graxa provenientes da água de lavagem de peças e equipamentos são retidos na caixa de retenção, que dá vazão para a Estação de Tratamento de Efluentes.	Alteração da qualidade do solo	III	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Retífica e afiação de facas	Substâncias nocivas à camada de ozônio Gases provenientes da fundição diária de (+ -) 45 kg de metal patente BMR utilizado nos calços das facas dos picadores. O levantamento ambiental de aerodispersóides foi efetuado pela Cecorp-Equipamentos de Segurança e Higiene Industrial Ltda. Aerodispersóides detectados: emissões de Chumbo	Alteração da qualidade do ar	III	Monitoramento e controle contínuo
Manutenção de sistemas de refrigeração e ar condicionado	Substâncias nocivas à camada de ozônio oriunda dos Gases Refrigerantes	Alteração da qualidade do ar	III	Uso de gás refrigerado isento de CFC
Manutenção de sistemas de refrigeração e ar condicionado	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos Água de lavagem são drenados para canaletas, que dão vazão para a Estação de Tratamento de Efluentes. Incluem-se neste item a Água de Condensação provenientes das Bandejas dos Equipamentos de Ar-Condicionado e Selfs.	Alteração da qualidade da água	III	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Manutenção de equipamentos	Efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais ou não domésticos Resultado de lavagem de uniformes provenientes de atividades de manutenção mecânica.	Alteração da qualidade da água	III	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Armazenamento/ Consumo de Produtos Químicos na área (Carbonato de Cálcio, Caulim, Amidos, Alvejantes, Sílica, Polímero, PAC, anti-estático, auxiliar ótico, sal, agente de colagem/drenagem dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	IV	Contenção, coleta do resíduo, comunicação com ETE, retenção em tanques com drenagem controlada, procedimentos operacionais de descarga e preparação de químicos
Controle de variáveis de qualidade papel - Scanners	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	IV	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial

Processo de Secagem	Incêndio / Explosão	Alteração do meio ambiente	IV	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Manutenção de sistemas de refrigeração e ar condicionado	Descarte de resíduos sólidos não perigosos (Classe II) Resíduos sólidos: Sucatas metálicas - Compressores, Condensadores, Motores elétricos, Pias, Cubas de bebedouros, Caixas de ar condicionado, Evaporadores, Sobras de cobre, torneiras de bebedouros, Porcas, Parafusos, Conexões, Nipples, Rolamentos, tubos, Fios elétricos, Plásticos, Isopor, Tubo esponjoso, Fita isolante, Fita crepe, Papelão, Papéis, Isolantes e toalhas industriais recicláveis.	Alteração da qualidade do solo	V	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Manutenção civis e de alvenaria	Descarte de resíduos de construção civil Resíduos Sólidos : Entulho (Concreto, Tijolo, Telha, Material a Granel, Pedra, Areia), Toalhas	Alteração da qualidade do solo	V	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Pintura e jateamento	Descarte de resíduos sólidos perigosos (Classe I) Resíduo Sólido : Granalha usada no jateamento, latas de tinta vazias, toalhas recicláveis, lixas, pincéis, rolos de pintura, fitas crepe, madeira, papel e papelão.	Alteração da qualidade do solo	V	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Manutenção / instalação de equipamentos mecânicos	Descarte de resíduos sólidos não perigosos (Classe II) Resíduos Sólidos : Sucatas Metálicas (Rolamentos, Buchas, Eixos, Acoplamentos, Carcaças de Equipamentos Velhos, Parafusos, Porcas, Selos Mecânicos, Rotores), Retentores, Peças de Borracha e Plástico, Embalagens de Papelão, Papel, Plástico e Madeira, Gaxetas, Juntas de Papelão Hidráulico; Toalhas Industriais Recicláveis impregnadas com resíduos de óleo, graxa, solventes e outros resíduos de limpeza; rebolos, discos de corte, arames.	Alteração da qualidade do solo	V	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Troca de lâmpadas queimadas contendo mercúrio	Descarte de resíduos de lâmpadas fluorescentes Lâmpadas Queimadas = lâmpadas usadas contendo mercúrio, de vapor de sódio, de luz mista e fluorescentes.	Alteração da qualidade do solo	V	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado

APÊNDICE D – LISTA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CELULOSE RECICLADA

Atividade	Aspecto	Impacto	Significância do Impacto	Medida Mitigadora
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de pneus	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Transporte de equipamentos e materiais (caminhão motor a diesel)	Descarte de peças de manutenção	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do produto que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Dedetização em geral	Descarte de embalagens	Alteração da qualidade do solo	I	Descarte executado pelo fornecedor do serviço que, conforme legislação, é o responsável pela destinação do resíduo.
Atividades Operacionais/ manutenção	Consumo de óleo - Avaliação referente a reposição de óleo lubrificante das unidades hidráulicas/equipamentos em geral	Redução de disponibilidade de recursos naturais	I	Tratamento na ETE /Monitoramento
Armazenamento, manuseio e carregamento - expedição de celulose úmida	Lixiviação de resíduos de celulose para efluentes	Alteração da qualidade da água	I	Faz a varredura do local, dispõem em bags para venda ou retorno ao processo / Tratamento ETE
Resíduos	Deslizamento ou erosão na área de preservação	Danos à vegetação de APP	I	Monitoramento visual das áreas de APP
Limpeza e higienização em geral	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização sobre consumo, utilização de baldes e panos para limpeza. Manutenção periódica em torneiras e válvulas e substituição das válvulas hídricas por caixa acoplada / Tratamento ETE
Limpeza e higienização de banheiros em geral	Recolhimento de resíduos sólidos	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em ponto de Coleta Seletiva
Limpeza e higienização em geral	Descarte de embalagens de produtos de limpeza	Alteração da qualidade do solo	II	Disposição em ponto de Coleta Seletiva
Varredura de ruas em geral	Geração resíduo de varrição	Alteração da qualidade do solo	II	Depósito em área interna (Pátio de Casca)
Retirada de material reciclável	Descarte de material reciclável da fábrica	Alteração da qualidade do solo	II	Cronograma de retirada diária e disposição do material na caçamba
Retirada de material não reciclável	Descarte de material não reciclável	Alteração da qualidade do solo e contaminação da água	II	Cronograma de retirada diária e disposição no Aterro Sanitário externo
Varredura de ruas em geral	Geração resíduo de varrição	Alteração da qualidade do solo	II	Depósito em área interna (Pátio de Casca)
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Utilização de equipamento de pressão e esguichos e mangueiras em boas condições de uso
Caminhão Pipa (caminhão motor a diesel)	Emissão de fuligem e gás carbônico (fumaça preta)	Alteração da qualidade do ar	II	Medição semestral da fumaça utilizando Escala de Ringelman e manutenção de bicos e bombas quando necessário

Dedetização em geral	Aplicação de inseticida	Alteração da qualidade do solo	II	Contratação de empresa especializada com certificados vigentes, métodos padronizados e pessoal habilitado.
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Consumo de Combustíveis Fósseis	Redução da disponibilidade de recursos naturais	II	Manutenção e otimização do processo
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio no Depósito de Madeira	Alteração do meio ambiente	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio no Depósito de Madeira	Alteração da qualidade do ar	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio (Máquinas)	Alteração do meio ambiente	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Incêndio (Máquinas)	Alteração da qualidade do ar	II	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Vazamento / Derramamento Acidentais	Alteração da qualidade do solo	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial e acionamento departamento ETE
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão de Ruídos e Vibrações	Incômodo a vizinhança	II	Monitoramento e controle
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão de Material Particulado - (Poeira)	Alteração da Qualidade do Ar	II	Monitoramento e controle
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão Acidental de Gás de Refrigeração - (Ar Condicionado)	Alteração da qualidade do ar	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Compactação de Solo	Alteração da qualidade do solo	II	Monitoramento constante
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos	Alteração da qualidade do solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de Madeira	Emissão de Gases de Escapamento (veículo automotor)	Alteração da Qualidade do Ar	II	Procedimento de medição da emissão de fumaça dos veículos
Preparação de Madeira - Abastecimento de máquinas	Derramamento de acidental de óleo	Alteração da qualidade do solo	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	É feito controle pela área de matérias para requisição e devolução das toalhas (quantidade requisitada deve ser a mesma quantidade devolvida), a área de matérias encaminha essas toalhas para empresa especializada em descontaminação
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Os resíduos são encaminhados para a área de materiais para descarte correto
Preparação de Madeira	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Os resíduos de construção civil é contratada empresa especializada para descarte
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - Filtro Bag, Filtro Cartucho, Rejeitos (Clipes, grampos, vidro, isopor, tinta e Areia) e	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem

	resíduos de construção civil			
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Emissão controlada de gases	Alteração da Qualidade do Ar	II	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Derrame acidental de licor	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Branqueamento	Derrame acidental de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Desaguadora	Geração de Resíduos Sólidos - Toalhas Contaminadas com óleo e graxa	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Geração de Resíduos Sólidos Perigoso - Lâmpadas, Óleos, Graxas,	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Geração de Resíduos Sólidos Não Perigosos - resíduos de construção civil	Alteração da Qualidade do Solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Vazamento de produtos químicos	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Desaguadora	Derrame acidental de efluentes	Alteração da qualidade da água	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Armazenamento e consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Limpeza de filtros / tanques / Poço efluente	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades operacionais - Secadora de Celulose.	Geração de efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais/ domésticos	Alteração da Qualidade da Água	II	Tratamento na ETE
Substituição de Vestimentas	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Secagem de Celulose	Uso de vapor: Refere-se a avaliação do consumo de vapor usado no processo de secagem da celulose.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento consumo de específico vapor
Limpezas secador	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Formação e Amarração de fardos Celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Identificação de fardos de celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Uso de energia - Refere-se a energia usada no processo da Secadora / salas administrativas.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico

Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Geração de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de Resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Substituição de lâmpadas	Geração e descarte de Lâmpadas queimadas	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Caixa de contenção de óleos e graxas, monitoramento da vazão e Tratamento na ETE
Consumo de óleo diesel no gerador de emergência	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Uso racional recursos
Queima de combustível fóssil no gerador de emergência	Geração de efluentes gasoso	Alteração da qualidade do ar	II	Manutenção preventiva do gerador
Vazamento de óleo diesel do gerador de emergência	Geração de efluentes líquido	Alteração da qualidade do solo / água	II	Bacia de contenção para manutenção preventiva
Armazenamento/ Consumo de Produtos Químicos na área (Carbonato de Cálcio, Caulim, Amidos, Alvejantes, Sílica, Polímero, anti-estático, auxiliar ótico, sal, agente de colagem/drenagem dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais - Fabricação de papel	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Procedimento operacional e parâmetros de processo
Fabricação de Papel	Geração de Efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	II	Sistema de ultrafiltração / Reaproveitamento processo
Fabricação de Papel	Vazamentos acidentais de Gás Natural	Alteração qualidade do ar	II	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Fabricação de Papel	Emissões atmosféricas fontes fixas	Alteração da qualidade do ar	II	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Fabricação de Papel	Geração e descarte de Resíduos sólidos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem ou descarte adequado
Substituição de vestimentas	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de tubetes	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Preparação de tubetes	Geração de poeira de tubetes	Alteração qualidade do ar	II	Monitoramento e controle
Formação de Bobinas-Bobinadeiras	Geração e Descarte de Resíduos Sólidos	Alteração meio ambiente	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem ou descarte adequado

Formação de Bobinas- Bobinadeiras	Uso de plástico para embalagem da Bobinas	Alteração meio ambiente	II	Otimização do processo e monitoramento para evitar perdas
Atividades operacionais - Fabricação de papel	Uso de Energia	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Atividades operacionais - Fabricação de papel	Uso de Vapor	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Substituição lâmpadas na área	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Tratamento na ETE / Monitoramento
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Manutenção	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Preparação bobinas / Cortadeiras	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Embaladeiras - Embalagens de resmas	Consumo embalagens em geral - Filme Stretch/ Cola/ envoltórios/cantoneiras/fit as etc	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Embaladeiras de resmas - Encaixotamento /paletização produto	Consumo de madeira - Avaliação referente ao uso de paletes de madeira no processo de acondicionamento de fardos do papel	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Exigência junto aos fornecedores de registro junto ao IBAMA para extração de madeira própria ou de seu fornecedor da madeira (Procedência da Madeira).
Etiquetadora e Rotuladora - Identificação do produto	Geração e descarte de resíduos sólidos de impressão	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais - Acabamento Papel	Consumo de água - Avaliação referente ao uso de água industrial, incluindo limpeza de área / equipamentos, desagregação de refugo. Inclui também uso de água potável.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Procedimentos operacionais e controle de consumo / Monitoramento consumo geral em relação a outorga
Atividades Operacionais - Acabamento Papel	Geração de efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais/ domésticos - Refere-se ao efluente doméstico que lançado continuamente no sistema de tratamento de efluente.	Alteração da qualidade da água	II	Tratamento na ETE / Procedimentos operacionais
Atividades Operacionais - Acabamento Papel	Uso de Energia - Refere- se a energia usada no processo de Acabamento de papel/ salas administrativas)	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Substituição lâmpadas na área	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem

Atividades Operacionais/ manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Tratamento na ETE /Monitoramento
Processo de Acabamento de Papel	Geração de poeiras - Avaliação referente a poeira produzida pelo processo de corte do papel no Acabamento.	Alteração qualidade do ar	II	Existe limite de controle e monitoramento contínuo.
Processo de Acabamento de Papel	Incêndio/ Explosão	Alteração qualidade meio ambiente	II	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers
Processo de Acabamento de Papel	Geração de ruído - Avaliação referente ao ruído produzido pelos equipamentos do processo de Acabamento de papel.	Incômodo a comunidade	II	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade
Lubrificação de Máquinas	Derramamentos acidentais de óleo hidráulico na área de Acabamento.	Alteração da qualidade de solo	II	Contenção / Coleta resíduo e kit de emergência
Armazenamento e consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Limpeza de filtros / tanques / Poço efluente	Geração e descarte de Resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades operacionais Secadora de Celulose	Geração de efluentes líquidos - Descarte de efluentes industriais/ domésticos	Alteração da Qualidade da Água	II	Tratamento na ETE
Substituição de Vestimentas	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Secagem de Celulose	Uso de vapor - Refere-se a avaliação do consumo de vapor usado no processo de secagem da celulose.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento consumo de específico vapor
Limpezas secador	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Formação e Amarração de fardos Celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Identificação de fardos de celulose	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Uso de energia - Refere-se a energia usada no processo da Secadora / salas administrativas.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Monitoramento de Consumo específico
Atividades Operacionais - Secadora de Celulose.	Geração de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais / Atividades de manutenção em geral	Consumo de óleo	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Substituição de lâmpadas	Geração e descarte de Lâmpadas queimadas	Alteração da qualidade de solo	II	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade de água	II	Caixa de contenção de óleos e graxas / Tratamento na ETE

Consumo de óleo diesel no gerador de emergência	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Uso racional recursos
Queima de combustível fóssil no gerador de emergência	Geração de efluentes gasoso	Alteração da qualidade do ar	II	Manutenção preventiva do gerador.
Vazamento de óleo diesel do gerador de emergência	Geração de efluentes líquido	Alteração da qualidade do solo / água	II	Bacia de contenção / Manutenção preventiva
Resíduos	Coleta e manuseio de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - geração de poeira	Incômodos a comunidade	II	Recomenda-se observar a direção do vento e velocidade de tráfego mais baixa para essa atividade.
Resíduos	Manuseio interno de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - geração de poeira	Alteração na qualidade do ar (incômodos aos colaboradores - interno)	II	Recomenda-se observar os colaboradores próximos a atividade e a velocidade baixa de tráfego na unidade.
Resíduos	Transporte de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - emissão de gases de escapamento	Alteração da qualidade do ar	II	Controle e medição de emissão de fumaça preta do escapamento do veículo.
Resíduos	Transporte de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio - emissão de ruído	Incômodos a comunidade	II	Manter a originalidade de fábrica do sistema de gases de combustão do veículo.
Resíduos	Recalque do percolado da área de armazenamento de resíduos - infiltração de percolado	Alteração da qualidade do solo e das águas subterrâneas	II	O efluente é tratado por decantação na lagoa de percolado da área de resíduos.
Resíduos	Acesso de animais	Morte dos animais	II	Se houver presença de animais mortos será avaliado as ações que devem ser tomadas
Armazenamento, manuseio e carregamento - expedição de celulose úmida	Geração / Descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade do solo	II	Faz a varredura do local, dispõem em bags para venda ou retorno ao processo
Movimentação de produto acabado ou em processo	Emissão de ruídos por veículos - Empilhadeiras	Incômodo às comunidades do entorno	II	Acesso a área operacional apenas utilizando EPI
Movimentação de produto acabado ou em processo	Emissões Atmosféricas por Empilhadeiras	Alteração da qualidade do ar	II	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Movimentação de produto acabado ou em processo	Geração de resíduos - pneus inservíveis	Alteração da qualidade do solo	II	Os pneus são armazenados no armazém avançado e posteriormente são devolvidos ao fornecedor da empresa terceira operante.
Movimentação de produto acabado ou em processo	Geração de resíduo perigoso	Alteração da qualidade da água e do solo	II	Armazenamento em recipiente apropriado para posterior retirada por empresa especializada.
Análises - Alvura, Consistência, Teor seco	Resíduos de massa celulósica, descarte coleta seletiva	alteração na qualidade do solo.	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - Viscosidade	Descarte de amostra com reagente etileno	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Massa Celulósica Úmida	Resíduos de massa celulósica.	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Física - Densidade da madeira (cavaco)	Descarte da amostra - madeira (cavaco).	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado

Análise Química - Kappa	Descarte da amostra - resíduo químico (titulação).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - DQO	Descarte de solução com metais pesados	Alteração da qualidade do solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Sulfidez	Resíduos de elementos químicos de metal pesado (nitrito de prata)	Alteração da qualidade do solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Residual de Peróxido	Descarte de soluções com substâncias químicas (titulação)	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Residual de Dióxido	Descarte de soluções com substâncias químicas (titulação).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Física/Química - Perda de Fibras, Contagem Pich, Sujidade.	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Física/Química - Perda de Fibras, Contagem Pich, Sujidade.	Resíduos de massa celulósica.	alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - Concentração de Soda (Licor Branco e Hidróxido de Sódio)	Descarte de soluções com substâncias químicas (titulação).	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Lavagem de vidrarias	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Atividades Operacionais	Consumo de energia elétrica	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Parte da energia produzida na própria fábrica
Atividades Operacionais	Consumo de água	Redução de disponibilidade de recursos naturais	II	Conscientização para o consumo deste recurso natural
Limpeza do laboratório	Descarte produtos de limpeza (detergente e sabonete líquido)	Alteração da qualidade do efluente	II	Tratamento ETE.
Análises - Alvura, Consistência, Teor seco	Resíduos de massa celulósica.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Análise Química - DQO e Perda de Sulfato	Descarte de solução com metais pesados	Alteração da qualidade do solo/água	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Condutividade e pH.	Descarte de soluções com substâncias químicas.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Análise Química - Concentração de Soda (Licor Branco e Hidróxido de Sódio)	Descarte de amostra.	Alteração da qualidade do efluente	II	Monitoramento e controle contínuo / tanque de contenção e envio para ETE
Limpeza do laboratório	Descarte de papel toalha	Alteração na qualidade do solo	II	Monitoramento e controle contínuo / seleção e envio para aterro classificado
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Emissão de Gases	Alteração da qualidade do ar	III	Monitoramento e controle nas fontes fugitivas
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Geração de Resíduos de Papel Reciclado	Alteração da qualidade do solo	III	Envio para área da caldeira como insumo de caldeira
Movimentação de Toras - (Carga e Descarga)	Descarte de EPI's Contaminados com Óleos e Graxas	Alteração da Qualidade do Solo	III	Descarte material contaminado
Preparação de Madeira	Consumo de Combustível Fóssil	Escassez de Recurso Natural	III	O abastecimento das máquinas é feito pela empresa contratada da área
Preparação de Madeira	Consumo de matéria prima - Madeira	Redução da Disponibilidade	III	Parâmetros de processo e monitoramento de indicadores

Preparação de Madeira	Consumo de Água	Escassez de Recurso Natural	III	Procedimento operacional e parâmetros de processo
Preparação de Madeira	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Preparação de Madeira	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Procedimento operacional e parâmetros de processo
Preparação de Madeira	Geração de Ruído	Incomodo de Comunidades	III	Padrão de Instalação de Engenharia
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Consumo de Água	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Uso de matéria prima - produtos químicos	Escassez de Recurso Natural	III	Monitoramento Parâmetros Controle Processo / Produto
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Acompanhamento de vazão e acionamento do setor da ETE
Lavagem / Depuração e Branqueamento	Emissão sem controle de gases	Alteração da Qualidade do Ar / Incomodo da comunidade ao entorno	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Branqueamento	Emissão de gases ácidos para atmosfera	Alteração da qualidade do ar	III	Aplicação de Químicos na Lavagem, Deslignificação e Branqueamento
Desaguadora	Descarte de Embalagem Produto Químico	Alteração da Qualidade do Solo	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Desaguadora	Consumo de energia	Escassez de Recurso Natural	III	Acompanhamento diário do consumo de energia
Desaguadora	Geração de efluentes	Alteração da qualidade da água	III	Controle Operacional da Desaguadora Federal e acionamento da ETE
Consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Bacias de contenção / Procedimentos de Descarga de Produtos Químicos
Atividades operacionais - Secadora de Celulose.	Consumo de água - Avaliação referente ao uso de água industrial no processo da Secadora.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Monitoramento de Consumo Específico
Secagem de Celulose	Emissões atmosféricas fontes fixas	Alteração da qualidade de ar	III	Monitoramento da temperatura do ar de exaustão
Controle de variáveis de qualidade da celulose seca	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante e Monitoramento
Processo de Secagem	Geração de ruído - Avaliação referente ao ruído produzido pelos equipamentos do processo de Secagem/ descarga de vapor.	Incomodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade através do CAPI - Canal Aberto com Partes Interessadas

Consumo de Produtos Químicos na área (Carbonato de Cálcio, Caulim, Amidos, Alvejantes, Sílica, Polímero, anti-estático, auxiliar ótico, sal, agente de colagem/drenagem dentre outros)	Consumo de Matérias-primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Atividades Operacionais - Fabricação de papel	Geração de efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	III	Tratamento na ETE / Monitoramento
Realização de Boil-out	Geração de Efluentes líquidos	Alteração da qualidade da água	III	Procedimentos operacionais de boil out/ comunicação com ETE / Retenção em tanques com drenagem controlada
Fabricação de Papel	Uso de combustível	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Consumo consciente e controle de perdas
Controle de variáveis de qualidade papel	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	III	Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante e Monitoramento
Controle de variáveis de qualidade papel	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Processo de fabricação de Papel	Geração de ruído	Incômodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade através do CAPI - Canal Aberto com Partes Interessadas.
Processo de fabricação de Papel	Incêndio/ Explosão	Alteração qualidade meio ambiente	III	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers, PAE
Operação sistemas de Identificação do produto	Geração e descarte de resíduos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Atividades Operacionais/ manutenção	Geração e descarte de resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Consumo de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Consumo Matérias primas	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Uso racional recursos
Armazenamento de Produtos Químicos (Ácido Sulfúrico/ Condicionador de feltros/ Agente de drenagem, dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	III	Bacias de contenção / Procedimentos de Descarga de Produtos Químicos
Atividades operacionais - Secadora de Celulose.	Consumo de água - Avaliação referente ao uso de água industrial no processo da Secadora.	Redução de disponibilidade de recursos naturais	III	Monitoramento de Consumo específico
Secagem de Celulose	Emissões atmosféricas fontes fixas	Alteração da qualidade de ar	III	Monitoramento da temperatura do ar de exaustão

Controle de variáveis de qualidade celulose	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Controle de variáveis de qualidade da celulose seca	Geração e Descarte de Equipamentos com Fontes Radioativas Incorporadas	Alteração meio ambiente	III	Plano de Atendimento a Emergência e Contingência Industrial
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de resíduos sólidos não perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Reciclagem
Atividades Operacionais/ Atividades de manutenção em geral	Geração e descarte de Resíduos sólidos perigosos	Alteração da qualidade de solo/água	III	Envio para Controle de Resíduos Sólidos para Separação e Descarte como Resíduo Perigoso em Aterro Classificado
Processo de Secagem	Geração de ruído - Avaliação referente ao ruído produzido pelos equipamentos do processo de Secagem/ descarga de vapor.	Incomodo a comunidade	III	Monitoramento do ruído nos arredores da empresa. Monitoramento de reclamações da comunidade através do CAPI - Canal Aberto com Partes Interessadas
Resíduos	Estocagem de grits, dregs, carbonato de cálcio, óxido de cálcio, cinzas da biomassa e hidróxido de cálcio	Alteração da qualidade das águas subterrâneas e solo	III	Esses resíduos são movimentados internamente para área de disposição intermediária e posteriormente destinados para usos sustentáveis.
Resíduos	Descarga de chorume	Alteração da qualidade do solo e das águas subterrâneas	III	Manutenção periódica dos mangotes, descarga em área de contenção e destinação ao tratamento de efluentes.
Movimentação de produto acabado ou em processo	Consumo de GLP	Redução da disponibilidade de recursos naturais	III	Manutenção preventiva das máquinas
Controle de variáveis de qualidade celulose	Radiação ionizante	Alteração meio ambiente	IV	Segurança nos Trabalhos com Radiação Ionizante e Monitoramento
Processo de Secagem	Incêndio / Explosão	Alteração do meio ambiente	IV	Procedimentos de prevenção de incêndios, manutenção preventiva em extintores, rede de hidrantes e sprinklers
Armazenamento/ Consumo de Produtos Químicos na área (Carbonato de Cálcio, Caulim, Amidos, Alvejantes, Sílica, Polímero, anti-estático, auxiliar ótico, sal, agente de colagem/drenagem dentre outros)	Derramamentos acidentais	Alteração da qualidade de solo/ água	IV	Contenção, coleta do resíduo, comunicação com ETE, retenção em tanques com drenagem controlada, procedimentos operacionais de descarga e preparação de químicos
Processo de Secagem	Incêndio / Explosão	Alteração do meio ambiente	IV	Procedimentos de segurança e acionamento da CIPA