



Danielle Reis Soares

**Economia Circular na Indústria de Celulose
tipo Kraft: aproveitamento de resíduos *dregs* e
*grits***

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental.

Orientador: Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro

Abril de 2018



Danielle Reis Soares

**Economia Circular na Indústria de
Celulose tipo Kraft: aproveitamento de
resíduos dregs e grits**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof.^a Ana Cristina Malheiros Goncalves Carvalho

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Dr^a. Thaís Cristina Campos de Abreu

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof. Jean Marcel de Faria Novo

Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro – TCE/RJ

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do
Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de abril de 2018.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Danielle Reis Soares

Graduou-se em Engenharia Ambiental pela Fundação Mineira de Educação e Cultura – FUMEC em 2010 e em Engenharia de Minas pela Faculdade Kennedy em 2014.

Ficha Catalográfica

Soares, Danielle Reis

Economia Circular na Indústria de celulose tipo Kraft: aproveitamento de resíduos *dregs* e *grits* / Danielle Reis Soares; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos. – 2018.

79 f.: il. Collor.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2018.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental – Teses. 2. Economia circular. 3. Resíduos sólidos da indústria de papel e celulose. 4. Valorização de resíduos. 5. Dregs. 6. Grits. I. Campos, Tácio Mauro Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Por minha família.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, pela saúde e oportunidade de concluir este mestrado.

A minha mãe, por acreditar em mim e não medir esforços para que eu pudesse realizar o curso de mestrado. Ao meu esposo, também, por acreditar em mim, pela paciência e me incentivar nos momentos mais difíceis. A todos os meus familiares pelo apoio.

Ao meu orientador Professor Tácio Mauro Pereira de Campos, por acreditar na minha ideia e pela parceria para a realização deste trabalho.

A todo o corpo docente do curso de Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental pelo compartilhamento do conhecimento e incentivo. Aos demais funcionários da PUC-Rio pela convivência e aprendizado.

A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro pela oportunidade de me tornar mestre e ampliar o meu conhecimento nos assuntos pertinentes a Engenharia Urbana e Ambiental. Através da realização deste curso acredito em poder contribuir ainda mais para o setor de sustentabilidade.

Aos colegas que estiveram ao meu lado ao longo desta jornada e que hoje se tornaram amigos, o meu muito obrigada, vocês tornaram esta caminhada mais alegre.

Resumo

Soares, Danielle Reis; Campos, Tácio Mauro Pereira de (Orientador). **Economia Circular na Indústria de Celulose tipo Kraft: aproveitamento de resíduos *dregs e grits***. Rio de Janeiro, 2018. 79 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Pesquisas recentes apontam que o Brasil ocupa lugar de destaque no ranking mundial de produção de papel e celulose. O setor é fundamental para economia nacional e é responsável por gerar diversos empregos diretos e indiretos. Porém, apesar de a madeira, principal matéria prima do processo produtivo, ser proveniente de florestas plantadas, as empresas do setor se deparam com problemas de cunho ambiental em função da grande quantidade de resíduos sólidos industriais gerados diariamente em suas fábricas, os quais, apresentam potencial de causar danos ambientais. Desta forma, o setor sofre com o forte apelo ambiental da sociedade, dos órgãos fiscalizadores e do mercado. Este fato tem levado as empresas a buscarem soluções alternativas para o descarte dos seus resíduos, com o intuito de valorizar e garantir um novo uso aos mesmos, ao invés, da simples disposição em aterro, levando em conta os conceitos e princípios da Economia Circular. Neste sentido buscou-se estudar na literatura os potenciais meios de valorização para os resíduos *dregs e grits* e, como resultado, encontrou-se utilizações dos mesmos como corretivos de acidez de solo e fertilizantes, estabilização de áreas degradadas, aplicação em obras rodoviárias, utilização na indústria de cerâmica e de cimento e na utilização como agregados em argamassas. Buscou-se também averiguar as práticas atuais adotadas por empresas do setor e os benefícios alcançados por elas como, por exemplo, a melhoria da imagem da empresa, redução do passivo ambiental e dos custos de transporte e disposição dos resíduos.

Palavras-chave

Economia circular; resíduos sólidos da indústria de papel e celulose; valorização de resíduos; *dregs*; *grits*.

Extended Abstract

Soares, Danielle Reis; Campos, Tácio Mauro Pereira de (Advisor). **Circular economy in the pulp industry: reuse of dregs and grits waste**. Rio de Janeiro, 2018. 79 p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nowadays, the strong environmental, social and economic appeal faced by the industrial sector have been contributing to the development of studies and research aimed at finding alternatives to the use of solid waste generated in its processes, in order to add value to them and to minimize the amount of waste sent to landfills, promoting improvement in the environmental performance of their processes and still favoring their image in the market, especially in the international market.

In this way the Circular Economy arises. According to Ellen MacArthur Foundation (2013), the Circular Economy is restorative and regenerative by principle, arises precisely to put an end to the current linear industrial model, considered as "pipe end", in which, the raw material extracted from nature is processed, consumed and discarded after use. The goal of Circular Economy is to keep products, components and materials at their highest level of usefulness and value, all the time.

The model distinguishes between technical and biological cycles. Consumption happens only in biological cycles, where food and biologically-based materials (such as cotton or wood) are designed to feed back into the system through processes like composting and anaerobic digestion. These cycles regenerate living systems, such as soil, which provide renewable resources for the economy. Technical cycles recover and restore products, components, and materials through strategies like reuse, repair, remanufacture or (in the last resort) recycling (Ellen MacArthur Foundation (2013).

The circular economy incorporates ideas from different schools of thought as the regenerative design, cradle to cradle, industrial ecology, economy of performance, biomimicry, and the blue economy; This model of economy is based on three principles: nature as model, nature as a measure and nature as a mentor.

Brazil is one of the main pulp and paper producers in the world and according to the Brazilian Tree Industry's Annual Report - IBÁ, pulp and paper exports contribute heavily to the Brazilian trade balance in addition to generating various jobs and income in all regions of the country. Increasingly, Brazil has been increasing its importance in the world context in relation to pulp and paper production. The country now occupies the second position in the world pulp production ranking. With regard to paper production, Brazil occupies the eighth position in the world ranking.

The evolution and good performance of the Brazilian pulp and paper industry, due to the fact that Brazil possesses soil and climate favourable to the development of a solid forestry base and also to investments in research and development, especially in the with respect to genetic improvement, in order to increase productivity of the national forest industry (Pitton, 2015). Lower production costs compared to the costs of other producer countries is also a factor that influenced the good performance.

There are different processes of pulp production from wood, but the Kraft process is the best known and used process worldwide. This process consists in the digestion of the wood chips by means of a strong alkaline solution, aiming the separation of the cellulose fibers of the lignin. Subsequently the chemical reagents used in the cooking of the chips, undergo a chemical recovery process, where the generation of solid residues such as dregs and grits.

Dregs is a dark, gently granular material that resembles coffee powder, but is very alkaline at high pH. This residue has relevant concentrations of aluminum, magnesium, manganese, iron, cobalt, phosphorus, silicon, calcium and zinc, which are non-process mineral elements that precipitate in alkaline solution (Foelkel, 2011b). The grits has a coarser granulometry, resembling sand and gravel, and are basically formed by extremely burnt lime and by carbohydrates and non-hydrated inerts rich in calcium, potassium, sodium and aluminum (Foelkel, 2011b).

Even if dregs and grits are not classified as dangerous, they have the potential to release chemical elements and therefore not inert, thus offering a risk of contamination of soil and water, in the absence of proper management and monitoring.

The companies of the sector, more and more, have been given attention to solutions that minimize the need to dispose of their waste in landfills. This is not due only to the environmental and social factors, but also to the strong economic appeal since, according to Paiva (2007), the use of waste besides reducing the environmental risk associated with the eternal storage can generate an economy related to transport and disposal costs and can also generate an economic return with the sale of them.

The literature presents several studies that aimed to ascertain the potential means of valorization of alkaline industrial residues such as dregs and grits, as well as boiler ashes and lime sludge. The use as a corrective of soil acidity is one of the most studied currently.

The acidity of the soil is an obstacle for agricultural production, and correction of this problem is essential for the plants to absorb the water and nutrients necessary for their growth. Currently limestone is the most used soil acidity corrective. However, this correction has a slow mobility in the soil profile, and therefore the soil acidity correction also occurs slowly and occurs only in the more superficial layers (Pértile, 2011). The research carried out by Medeiros et. al. 2009, evaluated the use of dregs as corrective soil acidity, and the results were satisfactory, being it possible to correct soil acidity more quickly and reach more subsurface soil layers.

According to the renowned author, Foelkel (1986), alkaline residues such as dregs and grits have the capacity to be used as soil acidity correctors, replacing limestone because these residues have sufficient calcium, magnesium and sulfur that help in the correction of soil pH and can also be considered as an agricultural fertilizer.

Intending to demonstrate benefits that can be achieved through adoption of practices that have the potential to value dregs and grits residues this research was directed to Fibria, an important company in the sector, which currently adopts as practice in the management of its waste the use of dregs and grits as agricultural input.

Currently the company adopts principles of the Circular Economy, while, it benefits the dregs and grits transforming them into corrective of soil acidity. In this way the generation of waste is minimized and instead of having an environmental

liability as a byproduct, Fibria has an agricultural input with potential for commercialization.

Therefore, the company achieves an indirect profit because it no longer has to pay for the waste ground, it prevents the payment of fines inherent to possible environmental contamination and still counts the direct profit through the commercialization of the agricultural input. In addition to environmental and economic gains, the company also achieves social gains, helping small local farmers and improving its image to the market.

The motivation of the research theme arises from the need for the industry to innovate and adopt practices that promote efficiency in the pulp and paper production process, benefiting its image, the environment, society, and finally, but not least, providing economic gains.

This research has as general objective to identify opportunities of valorization of the dregs and grits residues with the application of the concepts of the Circular Economy in the management of the solid waste coming from the Kraft process in order to avoid the disposal in landfill. The specific objectives are:

- Review and understand the production process of pulp and paper as one all,
- To know and describe the characteristics of the waste,
- Explain the advantages in adopting technologies of valorization,
- Identify the best practices adopted in the sector.

The research was based on studies that show benefits in the adoption of the technologies that favor the valorization of waste from the kraft process and in the information available in the communication channels of Fibria, a pulp and paper company. The practices adopted in this company are presented as a potential route for recovery of waste.

Through the research, environmental, economic, social and marketing benefits were identified. Environmental benefits occur due to the preservation of natural resources, by reducing the extraction of non-renewable resources and by extending the life of the industrial landfills.

The companies benefit economically because they no longer have the costs related to the transportation and the eternal grounding of the waste and also prevent fines and penalties inherent in an environmental accident. The commercialization of the by-product and the economy in the acquisition of new products in the market,

when the recovered waste has potential of internal use for the company, are also considered the economic benefits.

Another identified gain is that with the adoption of valuation Technologies, companies pass a better image for the adoption of valuation Technologies, companies pass a better image for the extremely demanding consumer market and for society.

Society also benefits, because the preservation of natural resources, leads to an environment will be more balanced, allowing a better quality of life for all. In some cases the communities around these companies are actively participating in the valorization actions, because when there is a by-product that may be of interest to the community, companies donate part of the by-product that is left over, as is the case of Fibria, a unit in Jacareí-SP.

Through this research is possible to conclude that the Circular Economy can improve the environmental performance of the pulp and paper production, as in addition to taking care of the environment, this economic model brings the materials used in the production of a well back the cycle promoting natural resources and financial profitability.

In Chapter I are presented the introduction of the research topic, the main concepts, the theoretical foundation of the subject circular economy, necessary for the development of this research, the problem, the motivation, the methodology, the objectives and the organization of the research.

Chapter II deals with the historical approach of the pulp and paper industry in Brazil, characterization of the Brazilian market and the importance of environmental aspects for the market.

Chapter III presents the different processes of production of cellulose and the evolution of the chemical process until reaching the Kraft process, the method most used by industry today. The steps of the Kraft process and the generation of solid wastes are also presented in order to identify the origin of each one of them. The characterization of dregs and grits is also presented. At the end of the chapter, we discuss the classification of solid waste in Brazil.

Chapter IV is intended for the presentation of practices relating to solid waste management and the strategies adopted by the paper and cellulose industry.

Chapter V deals with the recovery of dregs and grits waste presenting the potential valuation pathways found in the literature. The chapter shows the use of these residues as an agricultural input aiming at the correction of soil acidity and increased fertility. The legal requirements for use as a corrective of soil acidity or fertilizers are also presented in this chapter. At the end of this chapter, the practice of valuing dregs and grits adopted by the company Fibria is shown.

In chapter VI, the final considerations on the subject are made and the Chapter VII presents the bibliographic references used for the research development.

Key words

Circular economy; solid waste from the pulp and paper industry; valorization of waste; *dregs*; *grits*.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 17 |
| 1.1 A Economia Circular (EC) | 18 |
| 1.2 Motivação | 24 |
| 1.3 Objetivos | 25 |
| 1.4 Metodologia e Organização da pesquisa | 25 |
| 2. A Indústria de Papel e Celulose no Brasil | 27 |
| 2.1 Contextualização histórica, mercado e aspectos ambientais | 27 |
| 3. Processo Industrial de Produção de Celulose e Papel | 35 |
| 3.1 O processo <i>Kraft</i> | 37 |
| 3.1.1 Produção da polpa de celulose e papel | 38 |
| 3.1.2 Recuperação química do licor negro | 40 |
| 3.2 Resíduos sólidos do processo | 42 |
| 3.2.2 Caracterização | 47 |
| 3.2.3 Classificação | 51 |
| 4. Práticas no Gerenciamento dos Resíduos Sólidos | 54 |
| 5. Valorização dos resíduos <i>dregs</i> e <i>grits</i> | 59 |
| 5.1 Potenciais vias de valorização | 60 |
| 5.2 Utilização como insumo agrícola | 62 |
| 5.2.1 Legislação aplicada | 64 |
| 5.3 O caso da Fibria | 66 |
| 6. Considerações finais | 70 |
| 7. Referências Bibliográficas | 73 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Ciclo biológico e Ciclo técnico | 22 |
| Figura 2: Gráfico da produção brasileira de celulose de 2015 e 2016. | 29 |
| Figura 3: Gráfico destino da produção de celulose brasileira | 30 |
| Figura 4: Gráfico da produção brasileira de papel de 2015 e 2016 | 31 |
| Figura 5: Gráfico destino da produção de papel brasileira. | 32 |
| Figura 6: Matriz Energética do Setor de Celulose e Papel | 34 |
| Figura 7: Representação esquemática simplificada do processo <i>kraft</i> . | 37 |
| Figura 8: Aspecto da polpa por etapa | 40 |
| Figura 9: Gráfico da composição do resíduo em porcentagem | 44 |
| Figura 10: Etapas do processo <i>Kraft</i> e a geração de resíduos sólidos. | 47 |
| Figura 11: Prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos conforme a PNRS. | 55 |
| Figura 12: Unidades Produtivas da Fibria. | 66 |
| Figura 13: Planta de produção de corretivo de acidez de solo da Fibria em Jacareí (SP). | 68 |

Lista de Quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade | 53 |
| Quadro 2: Oportunidades para valorização dos <i>dregs</i> e <i>grits</i> oriundos da fabricação de celulose <i>Kraft</i> | 61 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Ranking dos principais produtores mundiais de celulose | 30 |
| Tabela 2: Ranking dos principais produtores mundial de papel. | 31 |
| Tabela 3: Resíduos sólidos do processo Kraft | 43 |
| Tabela 4: Resultados encontrados na literatura para análise de resíduos <i>dregs</i> – base seca (exceto umidade e consistência que tem como base o peso total) | 49 |
| Tabela 5: Resultados encontrados na literatura para análise de resíduos <i>grits</i> – base seca (exceto umidade e consistência que tem como base o peso total) | 50 |

Lista de Siglas

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
ABCTCO – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN – Balanço Energético Nacional
BNDS – Banco Nacional de Desenvolvimento
BRADESCO – Banco Brasileiro de Descontos
CDE – Conselho de Desenvolvimento Econômico
CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos
EC – Economia Circular
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME – Ministério de Minas e Energia
NBR – Norma Brasileira
PIB – Produto Interno Bruto
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
SDA – Secretária de Defesa Agropecuária

1. Introdução

Na indústria o processo produtivo de um bem gera, conseqüentemente, materiais residuais que não possuem valor para aquele processo, entretanto, pode haver a possibilidade de serem utilizados como insumo em uma nova cadeia produtiva. Conforme a Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, quando não mais existe a possibilidade de um aproveitamento que seja tecnológica e economicamente viável para os resíduos os mesmos passam a ser considerados rejeitos e, portanto, o seu descarte e disposição final se tornam inevitáveis. Sendo assim, o rejeito possui como característica econômica marcante o seu preço negativo, ou seja, as pessoas estão dispostas a pagar pelo seu descarte e disposição final (Demajorovic, 1995).

O custo inerente à disposição final do rejeito constitui uma externalidade¹ negativa. Uma externalidade tem origem quando uma pessoa se dedica a uma ação e provoca impacto no bem-estar de outro, que não participa dessa ação, sem pagar e nem receber nenhuma compensação pelo impacto (Mankiw, 2009). Apesar de contribuir fortemente com a balança comercial nacional por meio de suas exportações e geração de empregos diretos e indiretos, as indústrias de papel e celulose tipo *Kraft* são responsáveis por gerar milhares de toneladas de rejeitos e resíduos sólidos em suas operações. A geração e o acúmulo destas matérias no solo, no ar e na água exemplificam bem uma externalidade negativa, ao passo que provocam impacto no meio ambiente, na saúde, na segurança e bem estar do ser humano.

Estes materiais residuais se tornam um inconveniente para as fábricas de papel e celulose pois precisam ser destinados de forma correta e por isso o setor é constantemente associado a problemas de cunho ambiental, social e econômico, uma vez que o manejo e a disposição incorreta dos mesmos podem comprometer a qualidade do ecossistema, provocando a proliferação de vetores transmissores de doenças e conseqüentemente resultando em altos custos para remediar os eventuais problemas inerentes à má gestão dos resíduos (Rodrigues, 2004; Paiva 2007).

¹ Efeitos sociais, econômicos e ambientais indiretamente causados pela venda de um produto ou serviço.

Nos dias de hoje, o forte apelo ambiental, social e econômico enfrentado pelo setor industrial tem contribuído para o desenvolvimento de estudos e pesquisas com o objetivo de encontrar alternativas de aproveitamento dos resíduos sólidos gerados nos processos produtivos, promovendo a valorização e a redução das quantidades de resíduos encaminhados para os aterros industriais. Desta forma, a ideia de relacionar a Economia Circular (EC) com o setor industrial surgiu, pensando em amenizar a questão da externalidade causadas pelo acúmulo dos resíduos industriais, uma vez que este modelo econômico, torna os recursos mais racional e eficiente e ainda torna positivo o preço negativo dos resíduos, através da sua transformação em insumos produtivos (Laurindo, 2016).

Portanto por que permanecer em um modelo de consumo linear, que leva ao esgotamento dos recursos, sendo que, a adoção do modelo circular de forma gradual e contínua, mesmo que em pequena escala, é capaz de promover ganhos ambientais, sociais e econômicos?

Diante desta problemática, a EC surge justamente para colocar fim ao atual modelo de consumo linear, considerado como “fim de tubo”, no qual a matéria prima extraída da natureza é processada, consumida e descartada após o uso. Sendo assim este trabalho buscou averiguar o uso da EC como uma ferramenta para auxiliar o setor industrial de papel e celulose tipo *Kraft* a melhorar a gestão dos seus resíduos sólidos industriais.

1.1

A Economia Circular (EC)

A EC, caracteriza-se como uma economia que é restaurativa e regenerativa por princípio e tem por objetivo manter todo o tempo o mais alto nível de utilidade e valor dos produtos, componentes e materiais e busca dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos (Ellen MacArthur Foundation, 2015, p.2). Este modelo econômico diz respeito a um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que leva em consideração a preservação e o aprimoramento do capital natural, maximiza a produção de recursos e minimiza riscos sistêmicos administrando os estoques finitos e fluxos renováveis (Ellen MacArthur Foundation, 2015, p.5).

Em janeiro de 2012, o relatório “*Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*”, foi lançado por Ellen MacArthur, a qual, é fundadora da Ellen MacArthur Foundation. De acordo com este relatório a Economia Circular é conceituada como:

“É a economia que substitui o conceito fim-de-vida pela restauração, se desloca para o uso de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização, e tem como objetivo a eliminação de resíduos através do *design* superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de empresas (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.22)²”.

Seu conceito baseia-se na inteligência da natureza, indo em contrapartida ao processo produtivo linear. No processo circular, os resíduos são insumos para a produção de novos produtos. O conceito de Economia Circular possui várias origens e, portanto, não pode ser associado a uma data específica e a um único autor. Entretanto, as suas aplicações práticas para os sistemas econômicos modernos e processos industriais tomaram uma nova dinâmica a partir do final da década de 1970, por iniciativa de um número reduzido de acadêmicos, líderes intelectuais e empresas (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.26).

Alguns acadêmicos acreditam que Kenneth Boulding, economista britânico, deu origem à expressão no artigo “*The economics of coming spaceship Earth*”, publicado em 1966. No artigo o autor defendia a ideia de que “o Homem tem de encontrar o seu lugar num sistema ecológico cíclico capaz de reprodução contínua de formas materiais desde que haja o necessário *input* energético” (Circular Economy Portugal, 2017).

Existe também aqueles que defendem que a origem do termo Economia Circular ocorreu na China, quando o país incorporou a ideia nos seus 11º e 12º planos quinquenais como base do futuro crescimento econômico do país. É fato que a China, maior país do mundo, contribuiu fortemente para a atenção que o conceito tem merecido no Ocidente (Circular Economy Portugal, 2017).

De forma independente da sua origem, a Economia Circular possui ideias de diversas escolas de pensamento, que veem aperfeiçoando e desenvolvendo o seu conceito (Ellen MacArthur Foudation, 2012). As principais ideias ligadas ao modelo da EC são: o *design* regenerativo; o “*cradle to cradle*” ou do berço ao

² ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. 2013. **Towards the Circular Economy**, vol, 1: an economic and business rationale for an accelerated transition.

berço; a economia de performance; a biomimética; a ecologia industrial e a economia azul.

O conceito **desing regenerativo** foi desenvolvido na década de 1970 nos Estados Unidos, pelo professor John T. Lyle. Os alunos de Lyle, foram desafiados por ele a desenvolver ideias para uma sociedade, na qual, as atividades diárias baseiam-se no valor de viver no limite da disponibilidade dos recursos renováveis, sem degradação ambiental. O conceito sugerido por Lyle, está associado a ideia de que, os próprios processos renovam ou regeneram as fontes de energia e os materiais que eles consomem (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p. 26).

Em 1976 o economista e arquiteto, Walter Stahel juntamente com Genevieve Reday, desenvolveram um relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, “O Potencial de Substituir Mão de Obra por Energia”, passando a visão de uma economia em ciclos, e seu impacto na criação de empregos, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios.

Conforme relata Fraga (2017), Stahel é conhecido também por ter fundado o termo “**cradle to cradle**” e trabalhou no desenvolvimento de uma abordagem de “ciclo fechado” para processos de produção e fundou o *Product Life Institute* em Genebra em 1970, com os seguintes objetivos: a busca pela extensão de vida dos produtos, bens de vida longa, atividades de condicionamento e prevenção de desperdícios (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.26).

Mais tarde em 1983, Stahel ganhou o prêmio Mitchell Prize com seu artigo “The product life fator” escrito em 1982, que aborda o ciclo de vida de um produto e de como sua respectiva extensão – a “**economia de performance**” – é um fator crucial para uma sociedade sustentável levando em conta que os recursos na Terra são finitos (Fraga, 2017).

Stahel chama a atenção para a importância de vender serviços ao invés de produtos, numa economia circular, incluída na noção de “economia de performance” que diferentemente da atual economia industrial, que é focada na produção e tem o uso intensivo de material como principal fonte para gerar riqueza, baseia-se no princípio da criação de riqueza a partir do conhecimento, exploração dos avanços científicos e tecnológicos, incorporação de estratégias de prevenção e suficiência e por fim na busca de soluções inteligentes para os sistemas (Laurindo, 2016).

O conceito do “*cradle to cradle*”, continuou a ser desenvolvido pelo químico alemão Michael Braungart em parceria com William McDonough, arquiteto americano, que em 2002 publicaram o livro: “*Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*”. A filosofia voltada no design para a eficácia³ em termos de produtos e minimização de impactos negativos através da eficiência⁴, considera que os materiais de um processo industrial podem ser nutrientes para processos futuros. Os nutrientes são divididos em duas categorias: técnicos (materiais finitos) e biológicos (materiais renováveis) (Leitão, 2017).

Segundo Ellen Macarthur Foundation (2013, p.27) no design “*cradle to cradle*” os processos seguros e produtivos do “metabolismo biológico” da natureza, devem servir de exemplo para o desenvolvimento de um fluxo de “metabolismo técnico” de materiais industriais. Os componentes de um produto podem ser projetados para a recuperação contínua e reutilização como nutrientes dentro desses metabolismos, de forma a eliminar o conceito de resíduo, recuperando o valor destes materiais. Os produtos de hoje serão recursos amanhã, favorecendo um mundo em que seus recursos são finitos.

A Figura 1, ilustra o ciclo biológico e o ciclo técnico de acordo com o pensamento “*cradle to cradle*”. Os produtos são separados em duas categorias: os de consumo e os de serviço.

Os produtos de consumo podem ser representados por produtos que possuem valor em si, como produtos de limpeza, beleza, alimentos e embalagens, são produzidos com nutrientes biológicos, que após o uso poderão ser descartados ou passar por outros usos consecutivos, de tal maneira que enriqueça a biosfera ao invés de contaminá-la (Gejer & Tennembaum, 2017).

Já os produtos de serviço, são aqueles que não possuem valor em si, mas o valor associa-se ao serviço relacionado ao seu uso, como por exemplo os veículos utilizados para transporte, eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos capazes de fornecer o entretenimento. Os produtos de serviço geralmente são feitos com materiais técnicos e deverão ser pensados desde o início para o reuso (Gejer & Tennembaum, 2017).

A concepção do “*cradle to cradle*” também maximiza o uso de energias renováveis e gerencia o uso da água para melhorar a qualidade, promover

³ Fazer a coisa certa.

⁴ Realizar uma atividade de maneira correta

ecossistemas saudáveis, e respeita os impactos locais. Preza também pela responsabilidade social, guiando operações e relações com stakeholders⁵ (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.27).

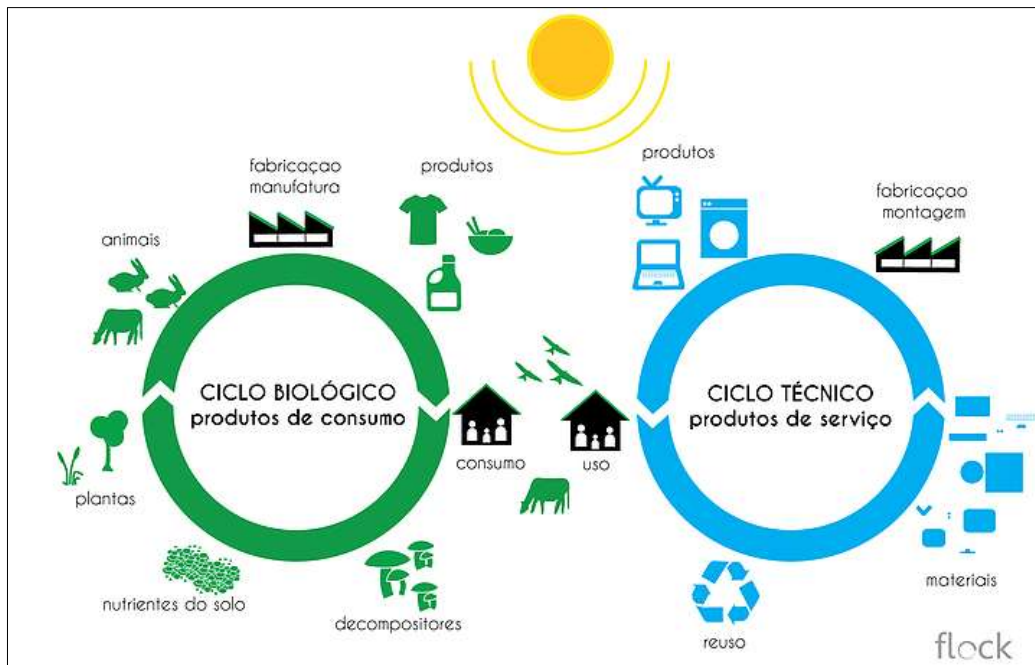


Figura 1: Ciclo biológico e Ciclo técnico
Fonte: Gejer & Tennemaum (2017).

A **ecologia industrial** consiste no estudo dos fluxos de materiais e energia nos sistemas industriais. Esta ideia é liderada pelo professor Roland Clift, no Centro de Estratégia Ambiental da Universidade de Surrey e visa a criação de processos de ciclo fechado nos quais os resíduos servem como insumo, eliminando a ideia de um subproduto indesejável. Possui um ponto de vista sistêmico, em que, os processos de produção são pensados de acordo com as restrições ecológicas locais, observando os impactos globais desde o início e tenta molda-los para que sejam o mais próximo possível dos sistemas vivos (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.27).

No mundo todo o setor industrial busca melhorar a eficiência energética dos processos que fornecem matérias e produtos. Entretanto o alcance para melhorar a eficiência energética industrial é limitado, uma vez, que os processos industriais sempre foram submetidos as pressões de custo para melhorar o desempenho. Desta

⁵ Pessoa ou grupo que tem interesse em uma empresa, negócio ou indústria, podendo ou não ter feito investimento neles.

forma o problema deve ser abordado de uma maneira diferente, focando em como reduzir o fluxo de materiais através da economia, o que não significa ter menos bens materiais em uso, mas significa gerenciar os materiais de forma mais inteligente (Clift & Allwood, 2011).

O termo **biomimética**, proveniente do grego, *bios* (vida) e *mimesis* (imitação), é definido por Benyus (1997) em seu livro “*Biomimicry*”, traduzido para o português como “Biomimética: inovação inspirada pela natureza”, como uma nova ciência que estuda os modelos da natureza e posteriormente os imita ou neles se inspiram para criar processos e solucionar os problemas humanos. Para exemplificar a autora cita uma célula de energia solar inspirada em uma folha.

A biomimética baseia-se em três princípios fundamentais:

1. A Natureza como modelo: estudar os modelos da natureza para que se possa utiliza-los na resolução dos problemas humanos;
2. A natureza como medida: utiliza a experiência adquirida pela Terra após seus 3,8 bilhões de anos, seguindo um padrão ecológico, para julgar a sustentabilidade das nossas inovações;
3. A natureza como mentora: uma nova forma de ver e valorizar a natureza, tendo como base o que podemos aprender com o mundo natural e não o que nós podemos extrair dele.

Idealizada por Gunter Pauli, economista belga, a **economia azul**, traduzido do termo em inglês “*blue economy*”, teve início como um projeto para encontrar cem das melhores tecnologias inspiradas na natureza, promovendo o crescimento econômico, ao mesmo tempo em que fornece de forma sustentável, as necessidades básicas como, água potável, alimento, abrigo saudável e emprego, para o homem.

Comparando a economia azul com a economia verde, Pauli (2010), defende que o modelo idealizado por ele possui maior viabilidade econômica, visto que, as necessidades para a vida são gratuitas graças à um sistema local de produção e consumo que funciona com o que se tem, e desta forma, mais barato do que os altos custos de produção, necessários para manter a saúde e segurança do ambiente, da economia verde.

O princípio central da economia azul tem como base a forma eficiente com que os ecossistemas fazem o uso dos recursos em cascata e o uso da energia, eliminando a ideia de resíduos e o desperdício de energia. Na natureza, o resíduo

de um processo é sempre um nutriente, um material ou até mesmo o recurso energético para um outro processo. As indústrias da atualidade devem ter os ecossistemas como modelo e deixar de lado o uso ineficiente dos recursos, do contrário, irão perder a competitividade e a capacidade de gerar empregos (Pauli, 2010).

Além das escolas de pensamento que auxiliam no desenvolvimento do conceito da EC, é importante destacar também os princípios em que a economia circular se apoia. De acordo com Ellen Macarthur Foundation (2015), são três os princípios:

1. **Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis:** quando necessária a utilização de um recurso, o sistema circular trata de selecionar com sensatez, escolhendo, sempre que possível, as tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou que apresentam um melhor desempenho;
2. **Otimização dos recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade todo o tempo:** isso quer dizer, projetar para a remanufatura, a reforma e a reciclagem, fazendo com que os componentes e materiais circulem e contribuam para a economia.
3. **Promover a eficácia do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o começo:** inclui a redução de danos a produtos e serviços dos quais os seres humanos precisam (alimento, mobilidade, habitação, educação, saúde e lazer) e a gestão de externalidades (uso da terra, ar, água, poluição sonora, liberação de substância tóxicas e mudanças climáticas).

1.2

Motivação

A motivação do tema da pesquisa surge pela necessidade de o setor inovar e adotar práticas que promovam a eficiência no processo produtivo de papel e celulose, beneficiando a sua imagem, o meio ambiente, a sociedade, e por último, porém não menos importante, proporcionando ganhos econômicos.

1.3

Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo geral identificar oportunidades de valorização dos resíduos *dregs* e *grits* com a aplicação dos conceitos da Economia Circular na gestão dos resíduos sólidos oriundos do processo produtivo de papel e celulose tipo *Kraft*, afim de evitar a disposição em aterro. Como objetivos específicos têm-se:

1. Revisar e compreender o processo produtivo de celulose e papel como um todo,
2. Conhecer e descrever as características dos resíduos,
3. Explicar as vantagens em adotar tecnologias de valorização,
4. Identificar as boas práticas adotadas no setor.

1.4

Metodologia e Organização da pesquisa

A pesquisa baseou-se em estudos que apontam benefícios na adoção das tecnologias que presam pela valorização dos resíduos do processo *Kraft* e nas informações disponíveis nos canais de comunicação da Fibria, empresa do setor de papel e celulose. As práticas adotadas nesta empresa, são apresentadas destacando o uso como insumo agrícola como potencial via de valorização dos resíduos.

A seguir a estruturação do trabalho é apresentada. No Capítulo I é feita a introdução do tema de pesquisa, onde são apresentados os conceitos principais, a fundamentação teórica do tema economia circular, necessário para o desenvolvimento desta pesquisa, a problemática, a motivação, a metodologia, os objetivos e organização da pesquisa.

O Capítulo II trata da abordagem histórica da indústria de papel e celulose no Brasil, caracterização do mercado brasileiro e da importância dos aspectos ambientais para o mercado.

No Capítulo III são apresentados os diferentes processos de produção de celulose mostrando a evolução do processo químico até chegar ao processo *Kraft*, método mais utilizado pela indústria atualmente, as etapas do processo *Kraft*, a

geração de resíduos sólidos afim de identificar a origem de cada um deles, a caracterização dos *dregs* e *grits* e ao final o capítulo aborda sobre a classificação de resíduos sólidos no Brasil.

O Capítulo IV destina-se à apresentação das práticas referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos e as estratégias adotadas pelo setor de papel e celulose.

O Capítulo V aborda sobre a valorização dos resíduos *dregs* e *grits* apresentando as potenciais vias de valorização encontradas na literatura. O capítulo evidencia a utilização destes resíduos como insumo agrícola objetivando a correção de acidez de solo e aumento da fertilidade. É apresentado também os requisitos legais para a utilização como corretivo de acidez de solo ou fertilizantes. Ao final deste capítulo é apresentado como exemplo a prática de valorização dos *dregs* e *grits* adota pela empresa Fibria, a qual, vem alcançando benefícios econômicos, ambientais e sociais ao adotar os princípios da economia circular na gestão de seus resíduos.

No capítulo VI, são feitas as considerações finais a respeito do tema e o capítulo VII apresenta as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

2. A Indústria de Papel e Celulose no Brasil

2.1 Contextualização histórica, mercado e aspectos ambientais

A indústria de papel e celulose mundial iniciou-se com o domínio da tecnologia de produção de papel a partir da celulose de madeira em 1.845 (Querioz & Barrichello, 2008 *apud* Fagundes *et. al.*, 2012). De acordo com a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2012), a origem do setor no Brasil ocorreu no início do século XIX, apresentando um crescimento tímido até os anos de 1950.

Entre os anos de 1950–1970 a indústria brasileira de papel e celulose sofreu avanços que segundo Zaeyen (1986) *apud* ABDI (2012), se deram basicamente em função da Política de Incentivos Fiscais, Lei Nº 5.106 de 1966, a qual, permitia a dedução de imposto de renda para investimentos em projetos de reflorestamento aprovados pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF; da fixação em 1968 pelo Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDS, de níveis mínimos na escala de produção de projetos que dependessem de aporte financeiro; e da fixação em 1972 de novos níveis mínimos na escala de produção por parte do Conselho de Desenvolvimento Econômico – CDE, os quais foram adotados também pelo BNDS, promovendo o considerável aumento na produção brasileira de papel e celulose e o início das exportações.

O período entre 1960–1970 foi marcado pela forte expansão do setor com o surgimento de diversas empresas e conseqüente aumento de produção, visto que, a grande maioria dos projetos receberam aporte financeiro por parte do BNDS. Foi neste período que a utilização de eucalipto nas florestas de produção teve início, representando uma verdadeira revolução para a indústria de papel e celulose, já que, o eucalipto apresenta um ciclo de crescimento extremamente rápido quando comparado com outras espécies utilizadas, como no caso do pinheiro do paraná, tpicos da região sul do Brasil, que apresentava um longo ciclo de crescimento, se tornando economicamente inviável (ABDI, 2012).

Segundo o ABDI (2012), a consolidao do setor ocorreu entre o final da década de 1980 e início da década de 1990, através de investimentos financeiros na modernizao e em ganho de produtividade nas plantas industriais, além da

profissionalização na gestão das empresas. Para Fagundes *et. al.* (2012), os investimentos em pesquisa em busca do desenvolvimento de tecnologia, como a clonagem de mudas, para a produção de celulose a partir do eucalipto contribuíram para o fortalecimento deste setor, que é bastante relevante para desenvolvimento do Brasil e ocupa posição de destaque no mercado internacional.

O setor de papel e celulose nacional é composto por 222 empresas que se dividem em três tipos de atuação: as integradas que produzem tanto a celulose como o papel; as que produzem apenas a celulose e destinam grande parte da produção para o mercado externo, vendendo a celulose de mercado para as produtoras de papel; e por fim as produtoras de papel, que compram a celulose (Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos – DEPEC & Banco Brasileiro de Descontos - Bradesco, 2017).

O segmento de celulose é altamente concentrado, apenas cinco empresas (Fibria, Suzano, Klabin, Cenibra e International Paper) são responsáveis por mais de 80% da produção de celulose nacional. Atualmente no mundo todo existem apenas, oito fábricas de celulose com capacidade produtiva acima de um milhão de toneladas por ano, sendo seis delas brasileiras (Piton, 2015). No segmento de papel a estrutura produtiva é menos concentrada, sendo que as cinco maiores empresas (Klabin, Suzano, International Paper, Fibria e Rigesa) respondem por 61% da produção nacional (Piton, 2015).

O Brasil é um dos principais produtores de papel e celulose no mundo e de acordo com o Relatório Anual de 2017 da Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ, as exportações de papel e celulose contribuem fortemente para a balança comercial brasileira além de gerar diversos empregos e renda em todas as regiões do País. Na contramão da crise, em 2016, o setor contribuiu com 6% do PIB industrial do Brasil e planeja investir até 2020, cerca de 53 bilhões de reais em projetos no País (Rapoport, 2016).

Por ser extremamente relevante para o desenvolvimento social, ambiental e econômico nacional, o setor tem investido na transformação de subprodutos e resíduos provenientes do processo de produção em produtos inovadores, renováveis e que permitam uma economia de baixo carbono (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2017).

Cada vez mais, o Brasil, tem aumentado a sua importância no contexto mundial em relação a produção de papel e celulose. Dados do IBÁ (2017), mostram

que no ano de 2016, a produção brasileira de celulose, foi de 18,8 milhões de toneladas, levando em conta o processo químico de fibra curta, que utiliza o eucalipto como matéria prima, o de fibra longa, que faz uso do pinus e o processo mecânico que resulta na pasta de alto rendimento. O processo químico representa 95 % da produção nacional, sendo que o processo de fibra curta é o mais utilizado.

Comparando com os valores de 2015 a produção cresceu 8,1 % conforme mostra o gráfico da (Figura 2). Com o aumento de produção, o Brasil subiu duas posições no ranking mundial passando a ocupar a segunda posição, desbancando a China e o Canadá (Tabela 1). As exportações atingiram 12,9 milhões de toneladas, sendo 11,9 % maior do que em 2015 (Figura 3). O volume consumido internamente foi de 6,3 milhões de toneladas, considerando a importação de 360 mil toneladas, praticamente estável em comparação ao ano anterior (IBÁ, 2017).

Para o papel, os dados do o relatório anual de 2017 da IBÁ mostram que, em 2016 foram produzidas 10,3 milhões de toneladas, havendo, uma queda de 0,2 % em relação ao ano anterior (Figura 4). A justificativa para este desempenho foi a queda nas vendas domésticas, que foi 0,3 % menor do que em 2015. Mesmo com a queda na produção, o Brasil subiu uma posição no ranking mundial dos maiores produtores de papel e ocupou a 8ª posição (Tabela 2). As porcentagens de exportação e consumo interno se mantiveram constantes em relação ao ano anterior (Figura 5).

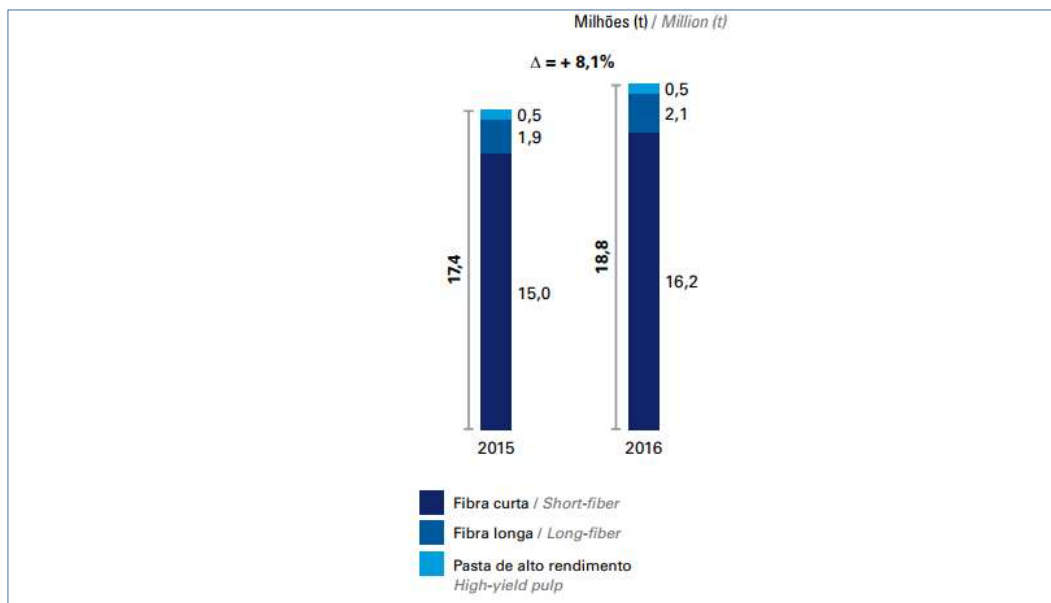


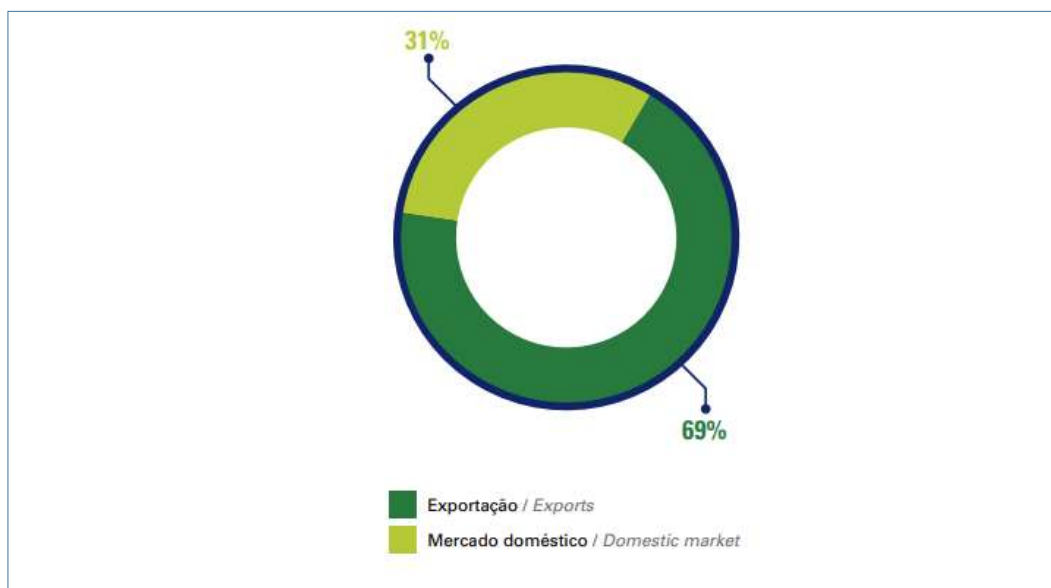
Figura 2: Gráfico da produção brasileira de celulose de 2015 e 2016.

Fonte: Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017).

Tabela 1: Ranking dos principais produtores mundiais de celulose

| Posição | País / Country | Produção / Production Milhões (t) / Million (t) |
|---------|------------------------|--|
| 1ª | EUA / USA | 48,5 |
| 2ª | Brasil / Brazil | 18,8 |
| 3ª | Canadá / Canada | 17,0 |
| 4ª | China / China | 16,8 |
| 5ª | Suécia / Sweden | 11,1 |
| 6ª | Finlândia / Finland | 10,3 |
| 7ª | Japão / Japan | 8,7 |
| 8ª | Rússia / Russia | 8,0 |
| 9ª | Indonésia / Indonesia | 6,8 |
| 10ª | Chile / Chile | 5,1 |

Fonte: Indústria Brasileira de Árvores (2017).

**Figura 3:** Gráfico destino da produção de celulose brasileira.

Fonte: Indústria Brasileiro de Árvores - IBÁ (2017).

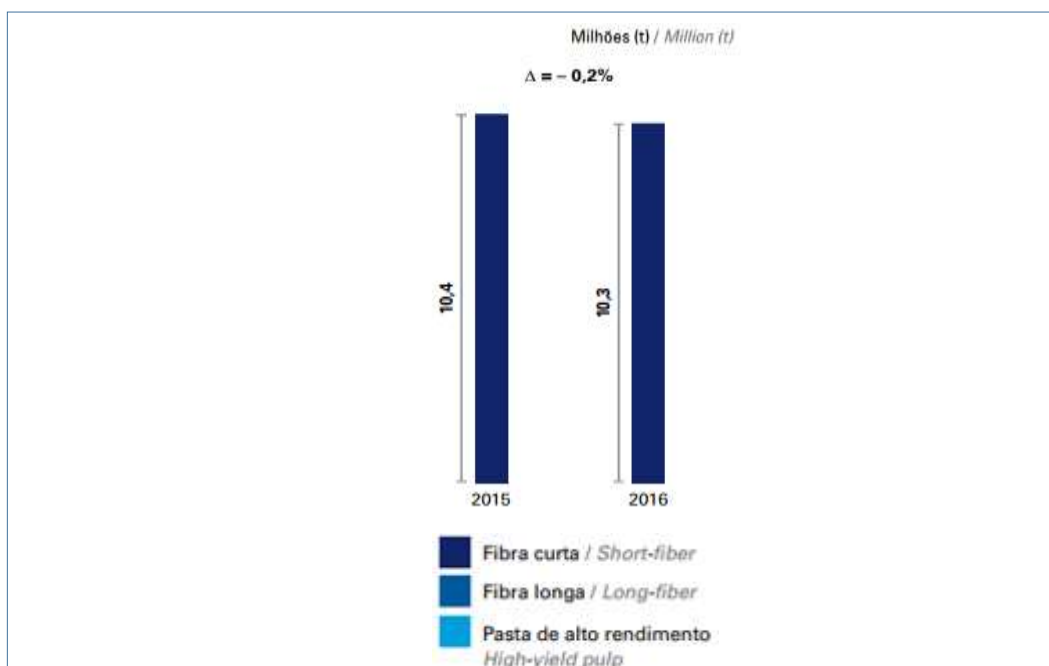


Figura 4: Gráfico da produção brasileira de papel de 2015 e 2016
 Fonte: Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017).

Tabela 2: Ranking dos principais produtores mundial de papel.

| Posição | País / Country | Produção / Production Milhões (t) / Million (t) |
|-----------|-----------------------------|--|
| 1ª | China / China | 111,2 |
| 2ª | EUA / USA | 72,4 |
| 3ª | Japão / Japan | 26,2 |
| 4ª | Alemanha / Germany | 22,6 |
| 5ª | Índia / India | 15,0 |
| 6ª | Coréia do Sul / South Korea | 11,6 |
| 7ª | Canadá / Canada | 10,6 |
| 8ª | Brasil / Brazil | 10,3 |
| 9ª | Finlândia / Finland | 10,3 |
| 10ª | Indonésia / Indonesia | 10,2 |

Fonte: Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2017

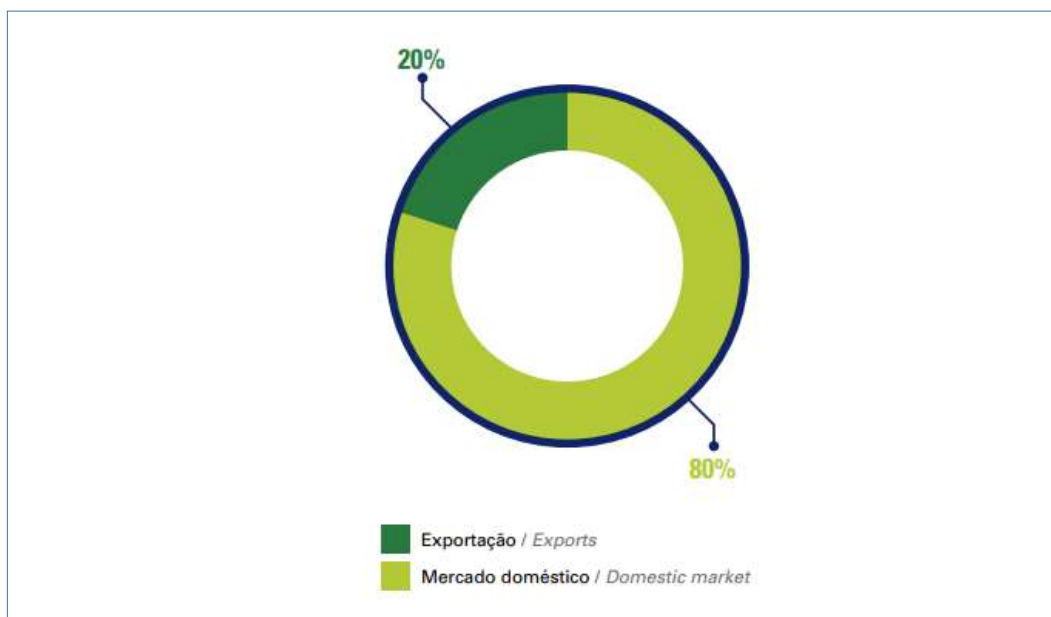


Figura 5: Gráfico destino da produção de papel brasileira.
Fonte: Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (20170).

Desde a década de 60, as taxas de crescimento da produção brasileira de celulose e papel, ficaram bem acima dos demais países. De acordo com Piton (2015), esta condição se justifica pelo fato de o Brasil possuir solo e clima favoráveis para o desenvolvimento de uma base florestal sólida e também aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, principalmente no que diz respeito a melhoramento genético, afim de aumentar a produtividade, medida do volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, da indústria florestal nacional. Segundo ABDI (2012), a produtividade do eucalipto no Brasil em 2010 ficou em torno de 41 m³/ha/ano, com potencial de elevar este valor para 70 m³/ha/ano, sendo que, a produtividade na China, país que também tem destaque no mercado mundial, foi de 25 m³/ha/ano para o eucalipto e o potencial de crescimento ficou em 30 m³/ha/ano.

A indústria brasileira de base florestal possui a maior produtividade e a menor rotação do mundo. A rotação corresponde ao tempo decorrido entre o plantio e a colheita das árvores. No Brasil, o ciclo de crescimento de eucalipto e pinus é de aproximadamente 7 anos, o qual é considerado curto quando comparado com países como a Espanha, Portugal e Chile, onde o ciclo pode chegar até 15 anos e até 20 anos para outras espécies de árvores no sul dos Estados Unidos (IBÁ, 2017; Piton, 2015).

Outro ponto que contribui para a alta competitividade brasileira neste mercado é custo de produção. No Brasil, os custos de produção, ficam em torno de

US\$ 235 por tonelada, enquanto nos Estados Unidos o valor chega a US\$ 420 e na China US\$ 498 (Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos – DEPEC & Banco Brasileiro de Descontos - Bradesco, 2017).

Ademais os aspectos ambientais são também bastante relevantes em questão de mercado e contribuem para a posição de destaque que o País ocupa, uma vez que no Brasil, a madeira utilizada na produção de celulose é proveniente, exclusivamente, de florestas de eucalipto plantadas (IBÁ, 2017).

Atualmente o Brasil possui 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo que 34% do total pertence às empresas do segmento de papel e celulose. Desta forma o setor busca atender aos critérios do Código Florestal Brasileiro e ganha credibilidade no âmbito internacional que, nos seus processos de negociações, levam em conta os aspectos ambientais e sociais dos processos produtivos (Fagundes *et al.* 2012).

A questão energética do setor também é um assunto importante quando se trata da sustentabilidade das operações. De acordo com IBÁ (2017), geralmente as fábricas de celulose mais modernas, são autossuficientes em energias e ainda geram excedentes que vão para a comercialização.

Dados do relatório do Balanço Energético Nacional – BEN de 2016, tendo como base o ano de 2015, apontam que o licor negro, subproduto do cozimento da madeira e portanto considerado uma fonte de energia renovável representa 49,8% da matriz energética deste setor, praticamente metade do total de energia, como mostra o gráfico da Figura 6. As demais fontes presentes na matriz energética do setor são a energia elétrica, a lenha, o carvão mineral, o gás natural e o óleo combustível, os dois últimos empregados no forno de cal que, de acordo com Aguiar *et al.* (2016), é uma das etapas de maior consumo energético.

Os termos desenvolvimento sustentável e sustentabilidade surgiram no início da década de 1990 e passaram a exercer forte influência no setor de papel e celulose, especialmente o brasileiro, o qual, a época encontrava-se em franco crescimento, e sem uma gestão visando a sustentabilidade, a conquista de espaço no mercado, seria algo muito difícil, principalmente nos mercados europeus, norte-americanos e japoneses (Foelkel, 2011a).

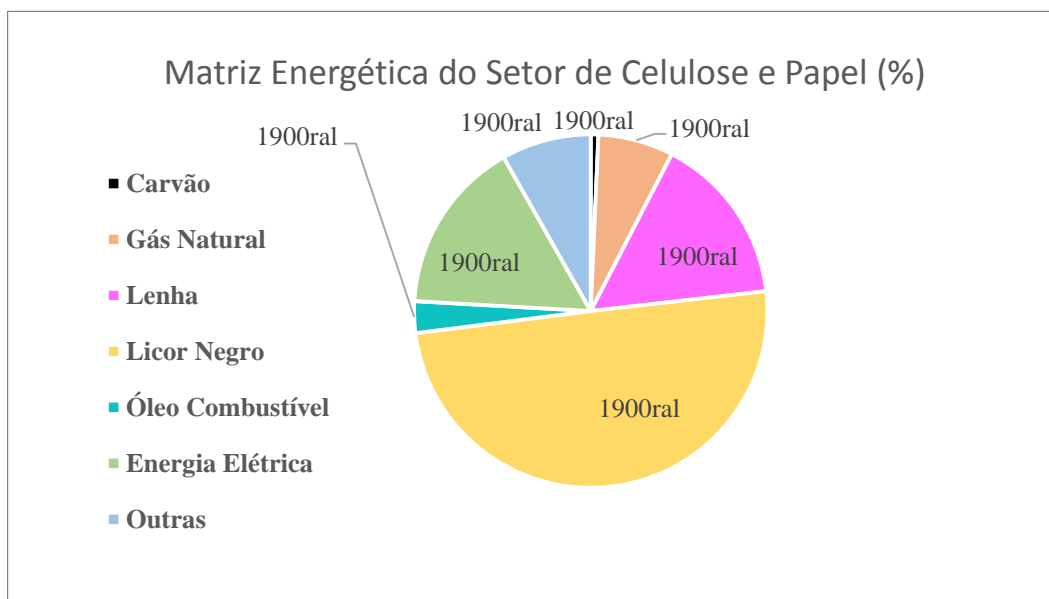


Figura 6: Matriz Energética do Setor de Celulose e Papel

Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia – MME, 2016 & Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2016).

O setor industrial de papel e celulose no Brasil, foi um dos primeiros setores a alavancar a sustentabilidade no país. Esta afirmação pode ser confirmada pelo fato de as empresas terem se dedicado nos programas de certificação ambiental, florestal e de responsabilidade social. As empresas do setor, estiveram na liderança de obtenção da dessas certificações, geralmente, outorgadas por entidades internacionais de alta credibilidade. Pode-se citar como exemplo as certificações ISO 14001⁶, ISO 26000⁷, OHSAS 18001⁸ e “*Forestry Stewardship Council – FSC*” em português Conselho de Manejo Florestal (Foekel, 2011a).

Apesar de ter alavancado a sustentabilidade, Paiva (2007) diz que, historicamente o setor papeleiro está associado a diversos problemas ambientais como: consumo de recursos naturais; geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e gasosos; manejo inadequado dos resíduos e imagem negativa perante a sociedade.

Sabe-se que até hoje a geração e o manejo dos resíduos sólidos continuam sendo um problema para as indústrias. Portanto a busca por soluções eficientes, que levem à diminuição da disposição em aterros e agreguem valor aos resíduos, ainda é, um grande desafio para o setor.

⁶ Especifica os requisitos de um Sistema de Gestão Ambiental.

⁷ Determina as diretrizes sobre a Responsabilidade Social.

⁸ Orientação e formação de um Sistema de Gestão da Segurança e Saúde Ocupacional

3. Processo Industrial de Produção de Celulose e Papel

A madeira, é a principal matéria prima para a obtenção de celulose, sendo a fonte para a obtenção de fibras celulósicas (D'Almeida *et. al* 1981 *apud* Teixeira, 2003). De forma geral, pode-se dizer que a madeira é composta, por carboidratos (celulose e hemicelulose), lignina e extrativos.

De acordo com Piotto (2003), a celulose, conhecida também como fibra da madeira, é um composto natural presente nos vegetais, podendo ser encontrada nas raízes, tronco, folhas, frutos e sementes e é o componente que confere resistência a polpa. A hemicelulose constitui-se de vários tipos de unidade de açúcares que podem ser definidos como solúveis em álcali, e assim como a celulose localiza-se na parede da biomassa vegetal (Castro, 2009).

A lignina, um dos materiais mais resistentes na natureza, confere rigidez à parede celular, atua como agente ligante das fibras na madeira e os extrativos são materiais solúvel em solventes orgânicos, como por exemplo: terpenos, graxas, ceras e fenóis (Piotto, 2003).

O processo de produção de celulose tem por objetivo dissolver a lignina da madeira de forma a liberar as fibras com o menor desgaste possível dos carboidratos (Alves *et al.*, 2015). O rendimento da polpa é inversamente proporcional à quantidade de extrativos presentes, sendo assim, altos teores de extrativos proporcionam baixos rendimentos em polpa. Os extrativos, geralmente são removidos durante o processo químico, sendo que, a quantidade de extrativo que permanece na polpa é muito pequena, não influenciando na qualidade da polpa, porém, alguns extrativos podem reduzir a alvura da polpa (Santos, 2005, p. 11).

Existem diferentes processos de produção de celulose a partir de madeiras, sendo eles mecânicos, semiquímicos, e os exclusivamente químicos. Segundo Fracaro (2012), nos processos mecânicos, as fibras são separadas por um desfibrador de pedra ou por discos rotativos de metal, sendo que é possível converter até 95 % da madeira em celulose e por esse motivo a celulose mecânica é conhecida também como pasta de alto rendimento. Entretanto a celulose mecânica apresenta um alto teor de lignina e, portanto, sofre rápido amarelamento sendo então considerada de baixa qualidade e utilizado para a fabricação de papéis menos

nobres, como por exemplo, o papel imprensa (Judd & Jefferson, 2003 *apud* Fracaro, 2012; Vakkilaine & Kivisto, 2010 *apud* Fracaro, 2012).

No processo semiquímico, os cavacos de madeira são submetidos a um tratamento químico menos severo do que nos processos exclusivamente químicos, e posteriormente seguem para o refino mecânico (Fracaro, 2012). O rendimento deste processo é superior ao do processo químico que tem rendimento entre 45 % a 55 %. De acordo com Piotto (2003), no processo semi-químico, o rendimento é da ordem de 60 % a 90 %, e o consumo de reagentes químicos é menor. Porém assim como no processo mecânico, apresenta um alto teor de lignina e a pasta apresenta cor escura, impossibilitando a utilização em papéis nobres (Fracaro, 2012).

Os processos químicos são os que geram as polpas mais puras, porém transformam metade da madeira em resíduos (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – ABTCP, 2007). Os cavacos são submetidos a pressão e temperaturas superiores a 150 °C, utilizando-se produtos químicos para realizar a separação entre lignina e as fibras da madeira (Piotto, 2003). As primeiras indústrias de produção de celulose química, utilizavam o processo soda, caracterizado pelo uso de hidróxido de sódio ou carbonato de sódio para o cozimento, e foram inauguradas no final do século XVIII nos Estados Unidos e na Europa. Depois o processo soda foi substituído pelo processo sulfito, considerado mais simples e que resultava em uma celulose mais brilhosa (Fracaro, 2012).

Posteriormente, ao final do século XIX, o processo sulfito foi substituído pelo processo sulfato, sendo este um processo químico de cozimento contínuo e caracterizado por produzir uma celulose mais forte e de maior qualidade e, portanto, denominado *Kraft* pela derivação da palavra sueca para o conceito de resistência (Correia, 2010).

As primeiras patentes deste processo tratavam da deslignificação de madeira, utilizando uma solução de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio e foram obtidas em 1.870 e 1.871 por A. K. Eaton. (Sjohlm, 1999 *apud* Alves *et al.* 2015). Apesar das patentes de Eaton, acredita-se, que o inventor deste processo seja Dahl, um químico pesquisador alemão, que descobriu a possível substituição do dispendioso carbonato de sódio por sulfato de sódio (Clayton, 1969 *apud* Alves *et al.* 2015). O sulfato foi quimicamente reduzido a sulfeto pela ação da queima do licor na caldeira de cozimento. Dahal percebeu que o sulfeto no licor de cozimento acelerou

consideravelmente a deslignificação, produzindo uma polpa mais resistente, obtendo a patente em 1884.

Atualmente o processo Kraft é o mais utilizado no mundo, inclusive no Brasil. De acordo com Piotto (2003, p.161), cerca de 80 % da celulose mundial é produzida pelo processo *Kraft* e de acordo com Mieli (2007), no Brasil mais de 90 % da celulose é proveniente do processo *Kraft*. Como vantagem este processo possibilita a obtenção de uma celulose mais resistente, a recuperação energética e química dos reagentes do processo de forma eficiente e ainda a obtenção de subprodutos valiosos (Fracaro, 2012).

3.1

O processo *Kraft*

As fábricas que empregam o processo *Kraft*, são constituídas por duas unidades principais, uma responsável pela produção da polpa de celulose e papel e outra destinada a recuperação química (Figura 7). O processo *Kraft* pode ser considerado um processo de ciclo fechado devido a interação entre estas duas unidades (Ferreira, 2013).

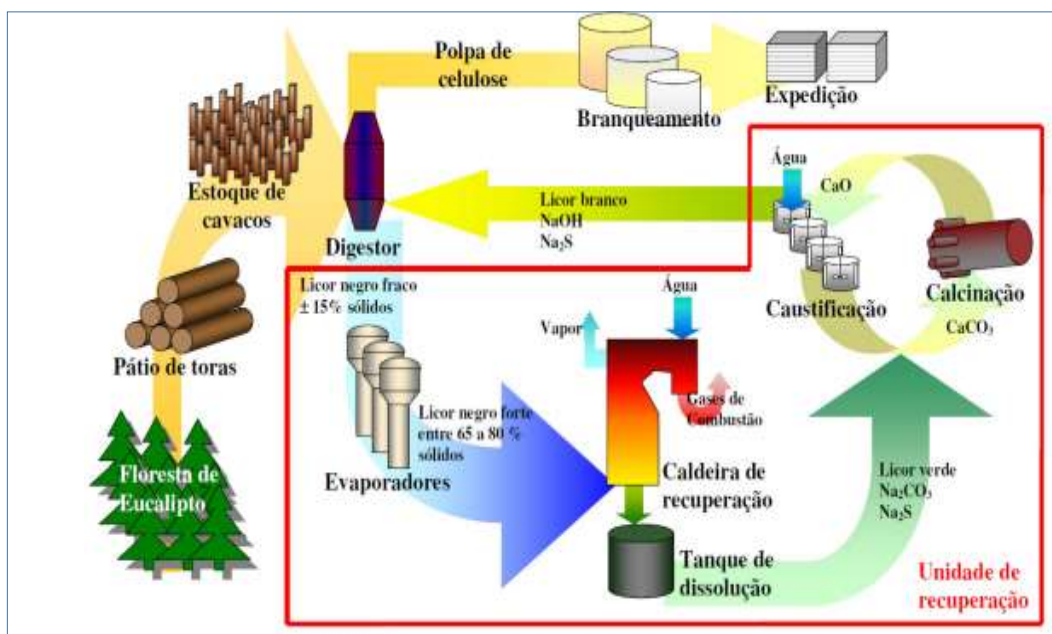


Figura 7: Representação esquemática simplificada do processo kraft.

Fonte: Ferreira (2007) *apud* Ferreira (2013).

A recuperação química dos reagentes é extremamente relevante para a viabilidade econômica e ambiental deste processo produtivo (Wolff, 2007).

3.1.1

Produção da polpa de celulose e papel

O processo de produção da polpa de celulose e papel tem início nas áreas florestais, que muitas vezes, são propriedade das próprias empresas produtoras, onde as árvores são derrubadas, desgalhadas e as toras, matéria prima, são cortadas e enviadas para as plantas industriais, onde serão armazenadas em pátio de estocagem (CETESB, 2008).

Para dar continuidade ao processo, as toras devem passar por descasamento para a obtenção de uma madeira sem cascas e sem sujeira. Guerra (2007), destaca que o descasamento da madeira é uma etapa importante visto que a casca prejudica o rendimento em celulose, afeta propriedades físicas do produto e eleva o teor de sujeira na pasta. Sendo assim retirando-se a casca do processo é possível reduzir as quantidades de reagentes químicos no processamento da madeira e os processos de lavagem e depuração tornam-se mais simples.

No Brasil, muitas empresas descascam suas toras nas áreas florestais e desta forma reduz o envio deste material para o pátio industrial ao mesmo tempo que deixam nutrientes e matéria orgânica em seus plantios. Em alguns casos, quando o descasamento não é feito na área florestal e sim na unidade industrial, as cascas são utilizadas em caldeiras auxiliares para geração de energia (Guerra, 2007).

O cozimento da madeira ou polpação, é a etapa seguinte ao descasamento, sendo necessário que as toras de madeira apresentem dimensões adequadas e uniformes para garantir que o cozimento seja homogêneo. Para isto as toras de madeira descascadas passam pela etapa de picagem e classificação, que as reduzem a fragmentos, facilitando a penetração do licor de cozimento (Piotto, 2003).

A classificação irá separar aqueles fragmentos muito finos ou muito grossos, redirecionando os finos para a caldeira de recuperação e os grossos de volta para o picador. Os cavacos com as dimensões adequadas seguem então para a etapa de cozimento ou polpação, onde ocorrerá a separação das fibras de celulose de outros componentes presentes na madeira, como a lignina, por exemplo (Guerra, 2007).

No processo *Kraft* o cozimento é a etapa de solubilização da lignina, em que, os cavacos já aquecidos com vapor, seguem para um digestor, onde são quimicamente tratados com o licor de cozimento (licor branco). Este licor é constituído por uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) com pH ajustado entre 13 e 14 no início do cozimento. Durante o cozimento, a temperatura da caldeira é gradualmente elevada, até atingir valores entre 165 a 170° C, sendo mantida por aproximadamente 1 a 2 horas, objetivando-se a remoção eficiente da lignina (Piotto, 2003). O licor branco reage com a madeira, dissolvendo a lignina e transforma os cavacos em celulose marrom (CETESB, 2007).

Após a degradação da lignina, é possível separar as fibras, através da lavagem em um difusor para remoção de produtos químicos e compostos orgânicos dissolvidos; e da depuração (peneiramento), onde serão retirados os nós e cavacos não cozidos, feixes de madeira e impurezas comum ao processo como areia (Wolff, 2007). Geralmente após o cozimento e lavagem o teor de lignina encontra-se próximo de 2,5 %. A massa obtida após a lavagem é composta de fibras individualizadas e por um licor residual de cor escura e por este motivo denominado de licor negro (Mieli, 2007).

Este licor é um efluente líquido contendo a lignina, reagentes químicos utilizados no início processo de polpação e matéria orgânica (metade da massa de madeira original). A sua recuperação é essencial em função de questões econômicas e ambientais, visto que, por possuir alto teor calorífico, o licor negro, possui capacidade de gerar a energia necessária para uma fábrica de celulose (Stein, 2010 e CETESB, 2007). Desta forma o processo conta com a etapa de recuperação química, que será abordada separadamente no próximo item.

Dando continuidade ao processo, a polpa após ser lavada segue para o branqueamento para a obtenção de uma celulose mais estável, de forma a permitir um tingimento controlado e a obtenção de um papel com maior alvura favorecendo a impressão, visto que, mesmo após a lavagem da pasta celulósica o teor de lignina de 2,5 %, mencionado anteriormente, ainda promove uma coloração inadequada a pasta (Piotto, 2003).

No processo convencional utiliza-se compostos de cloro, como o dióxido de cloro (ClO₂) para impregnar a massa e oxidar a lignina que persistir depois do cozimento e deslignificação (CETESB, 2007). Em plantas mais modernas, antes do

branqueamento a polpa pode passar por uma deslignificação com oxigênio ou pré-branqueamento, para reduzir o teor de lignina da polpa, antes do tratamento químico (Guerra, 2007). De acordo com Piotto (2003), o branqueamento é a continuação da deslignificação que teve início no cozimento. O aspecto da polpa após cada etapa é apresentado na Figura 8.

Por fim a polpa branqueada segue para prensagem e secagem a vapor para então ser embalada e transportada no caso de fábricas não integradas. Em fábricas de produção integrada, após o branqueamento, a polpa é bombeada para a fabricação de papel. A folha de celulose seca é cortada e embalada em fardos (Guerra, 2007).

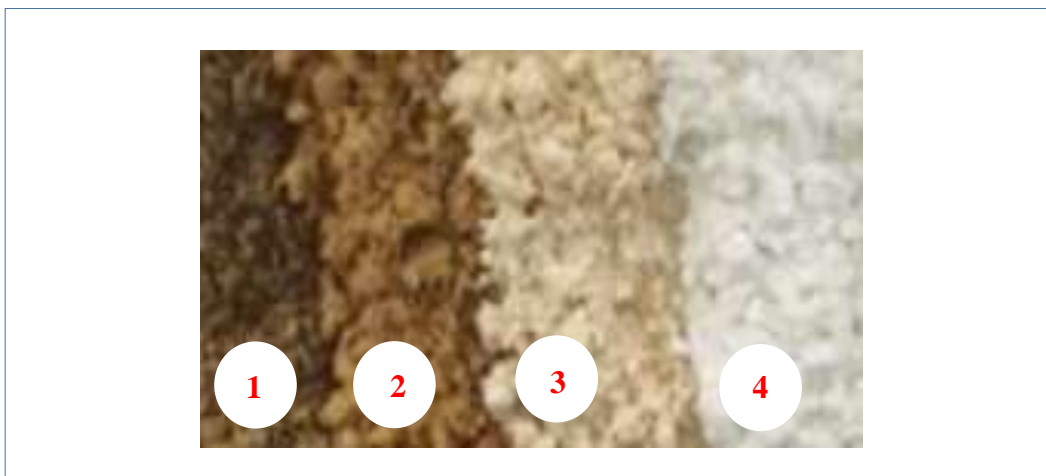


Figura 8: Aspecto da polpa por etapa - (1) após cozimento, (2) após lavagem e depuração, (3) após pré-branqueamento e (4) após branqueamento.

Fonte: Adaptado de Fibria (2016a).

3.1.2

Recuperação química do licor negro

Como mencionado, o setor industrial tem se preocupado com os problemas ambientais, os quais tem se mostrado cada vez mais presentes, sendo a sustentabilidade um assunto em ascensão. Sendo assim o setor de papel e celulose segue na busca para melhorar o desempenho ambiental do seu processo produtivo e para tanto conta com uma unidade exclusiva para a recuperação do licor negro (Aguiar *et al.*, 2016).

A formação do licor negro durante a polpação *Kraft* é inevitável, podendo este, ser causador de impactos ambientais negativos. Fortunato (2014) apresenta

como exemplo o acidente ocorrido na cidade de Cataguases em 29 de março do ano de 2003.

Na ocasião, a barragem da Indústria Cataguases Papel, contendo 900 mil m³ de rejeito conhecido como, licor negro, constituído basicamente de lignina e sódio, se rompeu e contaminou o Córrego Cágados e posteriormente o Rio Pomba, chegando no estado do Rio de Janeiro quando atingiu o Rio Paraíba do Sul e depois chegou ao mar. A época o acidente foi considerado o maior desastre ambiental do Brasil. Houve mortandade de peixes, interrupção no abastecimento de água de algumas cidades nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro por cerca de 10 dias, causando prejuízos a pequenas propriedades rurais às margens do Córrego Cágado (Almeida, 2015).

Por possuir alto poder calorífico, em função da grande presença de matéria orgânica, cerca de 60 %, a utilização do licor negro como insumo energético se torna viável e por possuir uma boa quantidade de reagentes químicos, a sua recuperação se torna bastante vantajosa (CETESB, 2007). Como mencionado anteriormente a utilização do licor negro como insumo energético nas fábricas de papel e celulose corresponde a cerca de 50 % de toda a energia consumida pelo setor.

Ferreira (2013) diz que o processo de recuperação química possui três etapas principais:

1. evaporação da água do licor preto fraco, objetivando a elevação do teor de sólidos para posterior queima na caldeira de recuperação;
2. queima do licor negro forte na caldeira de recuperação visando a conversão do sulfato de sódio (Na₂SO₄) presente no licor negro em sulfeto de sódio (Na₂S), utilizado na produção da celulose *Kraft* e geração de vapor através da combustão para co-geração de energia elétrica;
3. caustificação e calcinação, do carbonato de cálcio (Na₂CO₃) para obter hidróxido de sódio (NaOH).

A recuperação química do licor negro nada mais é do que a evaporação da água presente, elevando o teor de sólidos e a queima dos mesmos na caldeira de recuperação. Inicialmente tem-se o licor negro fraco (14-18 % de sólidos), que se forma logo após a dissolução da lignina e a separação das fibras da madeira. Este licor passa por uma unidade de evaporação onde terá o seu teor de sólidos elevado

para até cerca de 65-75 %, transformando-se no licor negro forte, o qual, é queimado na caldeira de recuperação, produzindo vapor e alta pressão, fornecendo energia térmica para geração de vapor e eletricidade (Wolff, 2007).

Ao queimar o licor negro, o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfeto de sódio (Na_2S) são fundidos formando uma pasta inorgânica denominados “*smelt*” que flui para um tanque de dissolução, onde será diluído em uma solução aquosa (licor branco fraco ou água quente) resultando na formação do licor verde (Wolff, 2007).

O licor verde formado segue para etapa de recuperação dos reagentes, onde em um primeiro momento se faz a purificação para remover as cinzas e impurezas, sempre presentes em um processo de queima (CETESB, 2007).

Após essa primeira etapa de “limpeza” segue-se para a caustificação, em que, se adiciona óxido de cálcio (CaO) ao licor verde. Inicialmente o óxido de cálcio reage com a água (H_2O), formando o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que por sua vez irá reagir com o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e formar novamente o hidróxido de sódio (NaOH), recompondo o licor branco (CETESB, 2007; Fortunato, 2014).

De acordo com a CETESB (2007), na caustificação é formada também uma lama calcácria (CaCO_3), que é separada e enviada para um forno de cal, onde ocorre a calcinação da lama, eliminando o CO_2 e regenerando o óxido de cálcio (CaO) para reutilização no processo. Segundo Ribeiro (2012), a reutilização da cal é da ordem de 90 %. O licor branco recomposto também retorna ao processo no início do cozimento dos cavacos nos digestores, de forma a fechar o ciclo.

3.2

Resíduos sólidos do processo

O setor de celulose e papel são grandes geradores de resíduos sólidos de origem orgânica ou inorgânica (mineral). De acordo com Foelkel (2011b), a geração de resíduos sólidos depende muito do conceito e idade tecnológica da planta industrial, dos insumos utilizados no processo e também do cuidado e responsabilidade dos operadores e gestores para com a geração de resíduos sólidos, sendo que, quanto mais eficiente for o processo, menor é a quantidade de resíduos gerados por tonelada de celulose ou papel produzida.

No processo de produção *Kraft* os resíduos industriais gerados não variam muito quanto ao tipo, mas com relação ao volume e peso, as quantidades são

bastante expressivas. Segundo Bellote *et al.* (2003), de forma geral, para cada 100 toneladas de celulose produzida são gerados cerca de 48 toneladas de resíduos sólidos, considerando a base seca. Levando em conta o valor da produção nacional de celulose em 2016 de 18,8 milhões de toneladas (IBÁ, 2016), é possível estimar o valor de aproximadamente 9 milhões de toneladas de resíduos sólidos gerados pelas indústrias brasileiras do setor. Todo esse resíduo gerado irá demandar equipamentos pesados para o seu manejo, grandes áreas para disposição, monitoramento, controle, documentação, fiscalização e entre outras demandas necessárias para se fazer a correta destinação final dos mesmos (Ribeiro 2012).

Para que se possa fazer uma gestão dos resíduos adequada é imprescindível ter conhecimento sobre origem destes materiais (Foelkel, 2011b). Os principais resíduos indústrias gerados são resíduos lenhosos como a casca de madeira e a serragem; sólidos alcalinos oriundos do processo de recuperação química do licor negro como os *dregs*, lama de cal, *grits* e as cinzas provenientes da combustão na caldeira de recuperação; e por fim lodos primários e biológicos provenientes da estação de tratamento de efluentes (Guerra, 2007).

A Tabela 3 apresenta as características como, tipo, fonte, volume e destino final dos resíduos proveniente do processo Kraft e a Figura 9 apresenta as proporções por tipo de resíduo, embora, as quantidades possam variar de acordo com cada empresa.

Logo no início do processo produtivo de celulose e papel, é necessário fazer o descascamento e picagem das toras de madeira e isto faz com que seja gerado resíduos lenhosos como a casca da madeira, serragem e cavacos superdimensionados (Guerra, 2007). Como mencionado anteriormente, no Brasil, muitas empresas, fazem o descascamento das toras na área florestal fornecendo nutrientes para o plantio e minimizando o envio deste resíduo para a planta industrial.

Tabela 3: Resíduos sólidos do processo *Kraft*

| Tipo de resíduo | Fonte geradora | Volume gerado (%/mês) | Volume específico (kg/ADT*) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Cascas | Pátio de madeira | 23,90 | 30,86 – 40,43 |
| Cinzas | Caldeiras | 11,00 | 14,23 – 30,22 |
| Dregs | Caustificação (purificação LV**) | 11,80 | 14,30 – 30,22 |
| <i>Grits</i> | Caustificação (hidratação da cal) | 2,30 | 2,93 – 7,34 |

| | | | |
|-------------|-------------------------|--------|-----------------|
| Lama de cal | Forno de cal | 22,20 | 28,62 – 53,83 |
| Doméstico | Geral | 2,70 | 3,46 – 3,72 |
| Lodo de ETE | Tratamento de efluentes | 16,70 | 21,56 – 29,40 |
| Outros | Entulhos/ rejeitos etc. | 9,50 | 5,85 – 12,07 |
| Total | | 100,00 | 127,81 – 181,21 |

Fonte: Adaptado de Filho *et. al.* (1997) *apud* Silva Jr. (2010).

Nota: * “Air dry on”, tonelada de celulose seca ao ar;

**Licor Verde.

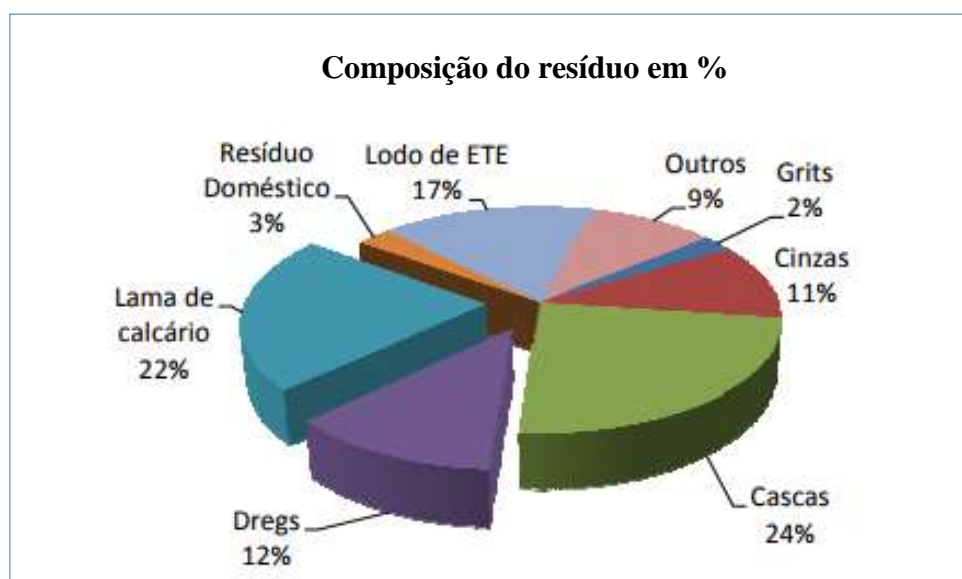


Figura 9: Gráfico da composição do resíduo em porcentagem
Fonte: Silva Jr. (2010).

Foekel (2008), conta em seu livro “*Eucalyptus Online Book*”, que no ano de 2005 a empresa Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA, enfrentou um sério problema relacionado as cascas de madeira, quando a geração de resíduos sólidos da empresa chegou a 850 kg/tonelada de celulose. Foekel (2008) menciona que a empresa tinha sua matriz energética baseada no consumo de cascas de madeira como biomassa combustível, sendo assim, todas as toras de madeira eram levadas para a fábrica, onde eram descascadas. Porém a empresa passou por inovações tecnológicas que resultaram em uma melhoria na eficiência energética do processo e então as cascas de madeira começaram a sobrar, constituindo-se no principal resíduo sólido da planta industrial (Foekel, 2008).

Seguindo com o processo de produção de celulose e papel, o cozimento, é a etapa onde ocorre a geração do licor negro, que por questões econômicas e ambientais, passa por um processo de recuperação química visando o

reaproveitamento de reagentes e a geração de energia através da queima do licor negro forte. De acordo com Guerra (2007), durante a etapa de recuperação, são gerados três resíduos sólidos, são eles: os *dregs*, a lama de cal e os *grits*.

O termo *dregs* remete a escória ou sedimento. Wolf, (2008) diz que os *dregs* são as impurezas insolúveis, constituídas de material não queimado na caldeira de recuperação e são gerados na etapa de purificação do licor verde que antecede a caustificação. Esta purificação ocorre em um clarificador de fundo cônico, em que os *dregs* se sedimentam e são descarregados em um tanque, a partir do qual seguem para um lavador e retirados do processo por um filtro rotativo (Wolf, 2008).

Com relação a lama de cal formada na caustificação do licor verde, foi mencionado anteriormente que esta é separada e enviada para o forno de cal, onde ocorrerá a calcinação para que óxido de cálcio (CaO) será regenerado retornado ao processo de caustificação, eliminando a geração de resíduo e a necessidade de compra de cal nova. Porém quando o forno de cal apresenta algum tipo de problema de manutenção ou operação, há geração de resíduos, pois a lama começa a sobrar, sendo necessário comprar cal nova até que o problema do forno seja resolvido, já que, as fábricas não possuem o costume de parar a sua produção, e com isto o ciclo de recuperação do processo é interrompido (Foelkel, 2008).

O termo *grits* significa grânulos. Eles são os resíduos formados na hidratação da cal virgem ou óxido de cálcio (CaO) para formar o hidróxido de cálcio (Ca(OH₂)), já que, a cal produzida durante a calcinação da lama no forno de cal não é completamente pura e nem totalmente reativa, sobram impurezas de compostos vitrificados, areia, carbonato de cálcio não reativo e etc., que são removidos do processo e denominados como *grits* (Foelkel, 2008; Modolo 2006).

Foelkel (2008), diz que apesar de serem gerados em locais distintos, a maioria das fábricas removem os *dregs* e *grits* de forma misturada, pois ambos são muito alcalinos e demandam por uma lavagem vigorosa e de qualidade para poder recuperar os compostos de sódio e cálcio. Sendo assim para evitar dois sistemas de lavagem as empresas fazem a mistura dos *dregs* e *grits*.

Já nas etapas de branqueamento e secagem são gerados efluentes que precisam passar por tratamento e, portanto, as empresas de celulose contam com um sistema de tratamento de efluentes, geralmente compostos por tratamento primário e secundário. Os resíduos gerados no tratamento de efluentes são: lodo do

tratamento primários (fibras perdidas no processo de celulose) e o lodo biológico, proveniente do tratamento secundário (Guerra, 2007).

Foelkel (2008), menciona que a geração de resíduos sólidos industriais é uma atividade paralela a atividade fim da indústria de papel e celulose e que grande parte dos gestores só se dão conta disto quando se veem atolados de resíduos e com falta de espaço físico para dispor os mesmos. Foelkel (2008), relata ainda que, nas empresas, muita atenção é dada aos setores de produção e manutenção e pouca atenção é dada ao setor de resíduos sólidos, sendo que estes só ganham mais espaço quando algo inesperado acontece, ou seja, ao invés prevenir muitas empresas optam por remediar os problemas relacionados aos resíduos. A Figura 10 apresenta um fluxograma do processo *Kfrat*, identificando a etapa de geração dos resíduos.

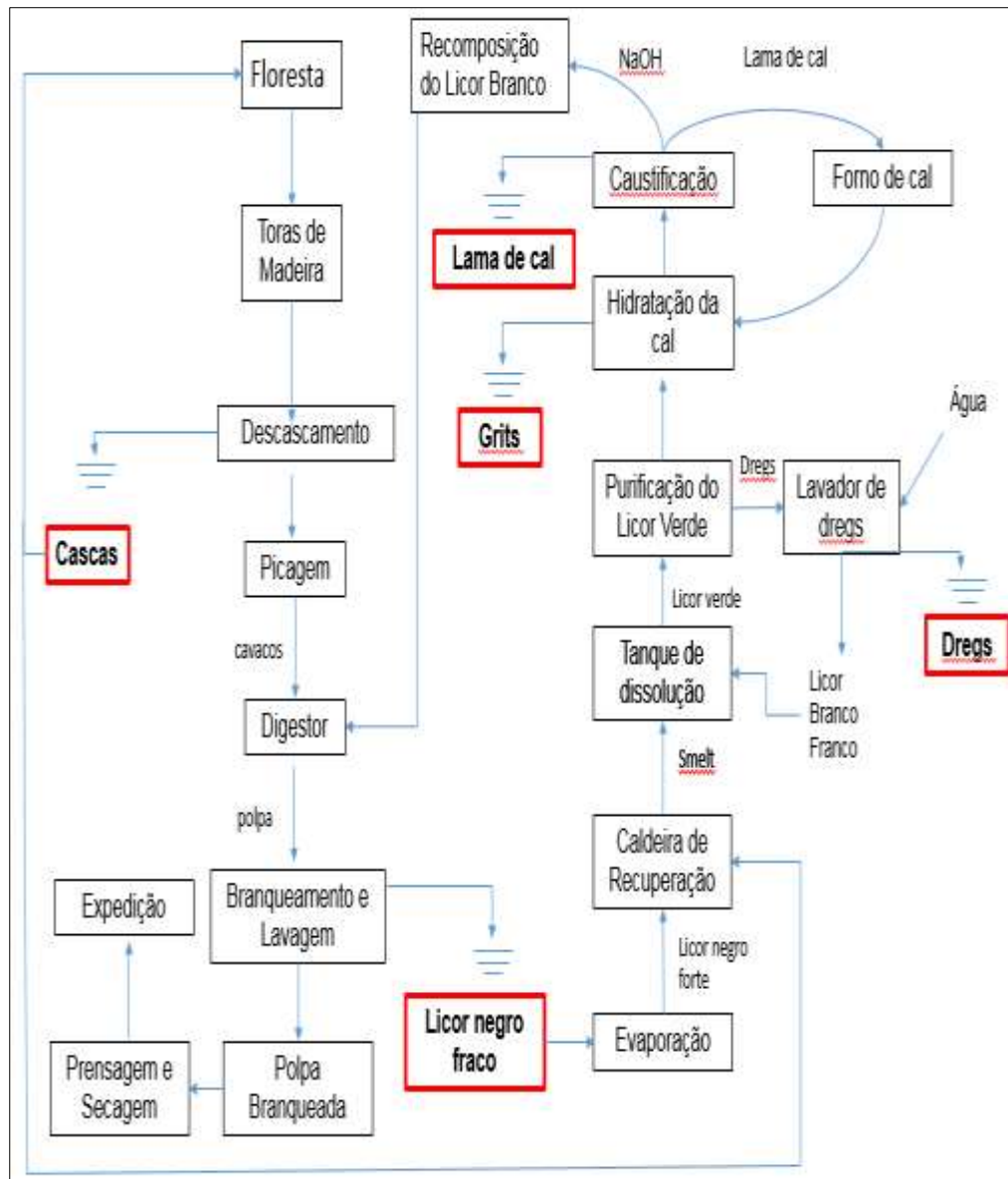


Figura 10: Etapas do processo Kraft e a geração de resíduos sólidos.

3.2.2

Caracterização

Para que se possa dar um novo destino a um resíduo é indispensável, conhecer as características do material, e isto, se torna possível através de sua caracterização. Os resíduos sólidos gerados no processo Kraft podem apresentar algumas variações quanto ao tipo, porém de acordo com Foelkel (2011b), alguns resíduos são comuns em todas as fábricas que adotam este processo, como é o caso dos *dregs* e *grits* e pensando em encontrar um novo uso para estes materiais afim de substituir o aterramento dos mesmos, é necessário conhecer suas características.

Foelkel (2011b), define os *dregs* como, material de cor escura, com odor característico, suavemente granular, que se assemelha ao pó de café, porém é muito alcalino apresentando pH elevado. Este resíduo possui concentrações relevantes de alumínio, magnésio, manganês, ferro, cobalto, fósforo, silício, cálcio e zinco, que são elementos minerais não processuais que se precipitam em meio alcalino (Foelkel, 2011b).

A coloração escura se deve ao fato de este resíduo ser removido na purificação do licor verde, carregando parte do carvão da combustão incompleta que ocorre na caldeira de recuperação, e ainda pela presença da lignina (Rodrigues *et al.*, 2016). Quando recolhidos de forma isolada, cerca de 90% de suas partículas apresentam diâmetros inferiores a 1,19 mm (Foelkel, 2011b).

O *grits* tem a coloração amarelada, sem odor. Apresenta a aparência de uma areia e/ou pedregulho, contendo calcário (CaCO_3) e outras impurezas (Torres, 2016). Possui granulometria mais grosseira, com 70 % das partículas apresentando dimensões que variam entre 0,425 a 4,76 mm. São formados basicamente pela cal virgem extremamente queimada (ou mesmo sinterizada⁹) e por carbonatos e inertes não hidratados, rico em cálcio, potássio, sódio e alumínio (Foelkel, 2011b).

O fato de o *grits* possuir uma granulometria distribuída por uma faixa mais ampla de tamanhos, resulta da formação por aglomeração de partículas de meios diversos, ou seja, incorpora não só as impurezas da rocha calcária calcinada para a produção de cal, mas também os resíduos do próprio forno, refratários e até mesmo da lama de cal reprocessada (Ribeiro, 2010).

A literatura apresenta resultados da caracterização químicas de *dregs* e *grits*, porém, a obtenção de dados analíticos claros a respeito destes resíduos é de certa forma difícil, em virtude de as empresas misturarem os mesmos para o processo de lavagem. Desta forma é mais comum encontrar a análise do resíduo misto, contendo inclusive a lama de cal. Dentre os três resíduos o *dregs* é o mais abundante e, portanto, diversos autores se referem ao resíduo como *dregs* apenas, apresentando dados impuros (Foelkel, 2011b).

Foelkel apresenta no capítulo 15 de seu livro, Eucalyptus Online Book: resíduos minerais dados da literatura a respeito da constituição dos *dregs* e *grits* de

⁹**Sinterizada:** partículas sólidas aglutinadas por aquecimento em temperaturas abaixo da temperatura de fusão. O forno de cal atinge temperaturas da ordem de 1200 °C.

forma separada, sendo possível conhecer melhor as constituições de cada um destes resíduo (Tabela 4 e 5).

Tabela 4: Resultados encontrados na literatura para análise de resíduos *dregs* – base seca (exceto umidade e consistência que tem como base o peso total)

| Parâmetro | Valores |
|--|-------------------------------------|
| Umidade | 40 a 65 % |
| Consistência | 35 a 60 % |
| Carbono orgânico | 5 a 25 % |
| N total | Menor que 0,06 % |
| P | 0,05 a 0,8 % |
| Ca | 8 a 35 % |
| Mg | 0,6 a 4 % |
| K | 0,1 a 1,5 % |
| SiO ₂ | 0,4 a 1,0 % |
| Al ₂ O ₃ | 0,1 a 1,5 % |
| Na | 0,1 a 4 % |
| S | 0,6 a 1,2 % |
| Mn | 0,1 a 1 % |
| Fe ₂ O ₃ | 0,2 a 1,2 % |
| Ba | 300 a 900 ppm |
| As | 0,3 a 3 ppm |
| Mo | 0,1 a 0,6 ppm |
| Ni | 10 a 100 ppm |
| Cu | 25 a 300 ppm |
| Zn | 200 a 1.600 ppm |
| B | 4 a 500 ppm |
| Cd | 1,5 a 10 ppm |
| Co | 0,6 a 50 ppm |
| Cr | 14 a 120 ppm |
| Hg | 0,01 a 0,03 ppm |
| Pb | 3 a 50 ppm |
| Se | 0,2 a 6 ppm |
| Be | 0,1 a 0,3 ppm |
| Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT | 50 a 80% |
| pH | 10,5 – 13,3 |
| Densidade aparente | 850 a 1.050 kg secos/m ³ |

Fonte: Foelkel (2011b).

Tabela 5: Resultados encontrados na literatura para análise de resíduos *grits* – base seca (exceto umidade e consistência que tem como base o peso total)

| Parâmetro | Valores |
|--|------------------------------------|
| Umidade | 30 a 60 % |
| Consistencia | 40 a 70 % |
| N Total | Menor que 0,05% |
| P | 0,08 a 0,7% |
| Ca | 30 a 37 % |
| Mg | 0,25 a 2,5 % |
| K | 0,1 a 0,7 % |
| SiO ₂ | 0,4 a 1 % |
| Al ₂ O ₃ | 0,4 a 2,5 % |
| Na | 0,4 a 2,5 % |
| S | 0,2 a 0,9 % |
| Mn | 0,15 a 1 % |
| Fe ₂ O ₂ | 0,1 a 1 % |
| Ba | 230 a 600 ppm |
| As | 0,3 a 3 ppm |
| Mo | 0,05 a 0,5 ppm |
| Ni | 10 a 100 ppm |
| Cu | 20 a 100 ppm |
| Zn | 10 a 100 ppm |
| Cd | 0,1 a 3 ppm |
| Co | 1,4 a 5 ppm |
| Cr | 30 a 100 ppm |
| Hg | 0,01 a 0,02 ppm |
| Pb | 2 a 5 ppm |
| Se | 0,5 a 1,5 ppm |
| Be | 0,5 a 1,5 ppm |
| Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT | 90 a 100 % |
| pH | 11,0 – 12,5 |
| Densidade aparente | 900 a 1.150 kg seco/m ³ |

Fonte: Foelkel (2011b).

Pode-se notar que há uma variabilidade nos resultados e Foelkel (2011b), justifica que este fato se deve aos seguintes fatores: diferenças nos métodos analíticos, características de amostragem, qualidade da lavagem dos resíduos, nível de fechamento do circuito em cada fábrica, tipo de madeira utilizada na polpação, sujeidade dos cavacos.

3.2.3

Classificação

De posse da caracterização dos resíduos, é fundamental que as indústrias façam também a classificação dos mesmos para que seja possível fazer a gestão dos resíduos com responsabilidade. De forma geral, no Brasil, os resíduos sólidos são classificados e gerenciados conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT:NBR 10004/2004 (Resíduos Sólidos – Classificação) e a PNRS: Lei N° 12.305 de 2010, regulamentada pelo Decreto Federal N° 7.404 de 2010, e pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N° 303 de 2002 (Cusma, 2015). Conforme a ABNT:NBR 10004/2004 os resíduos sólidos são definidos como:

Resíduos nos estados sólidos ou semi-sólido, que resultam de atividades de origem, industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como, determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento em rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT:NBR 10004/2004)¹⁰.

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS de 2010, os resíduos podem ser classificados quanto à sua periculosidade e quanto a sua origem. A periculosidade leva em conta os potenciais riscos que o resíduo pode apresentar para a saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, e ao meio ambiente quando gerenciado de forma incorreta (ABNT:NBR 10004/2004).

A classificação quanto a origem leva em conta o local de geração do resíduo podendo ele ser de origem: domiciliar, limpeza urbana, comerciais, serviço público e saneamento, serviço de saúde, construção civil, agrossilvopastoris, serviços de transporte, mineração e industriais (PNRS, 2010).

Os resíduos sólidos industriais são aqueles oriundos dos processos produtivos e instalações industriais. Estes resíduos, de forma geral, têm cada vez mais chamado atenção em virtude da sua relação com a proteção ambiental, e também em função

¹⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**: resíduos sólidos classificação. Rio de Janeiro, 2004.

de aspectos econômicos (Matias, 2012). No Brasil, todo e qualquer resíduo industrial, precisa ser classificado com base na composição química e nos ensaios de lixiviação, toxicologia, corrosividade, reatividade e patogenicidade para averiguar sua periculosidade, de acordo com a Norma Brasileira - NBR 10.004/2004 (Foelkel, 2011b). É somente a partir desta classificação, que se pode definir os programas de disposição e reutilização dos resíduos de forma segura (Foelkel, 2011b).

Conforme a norma citada, os resíduos são separados da seguinte forma: Resíduos classe – I (perigosos); resíduos classe – IIA (não perigosos não inertes) e resíduos classe – IIB (não perigosos inertes) (Quadro 1). Somente a partir desta classificação se pode definir a correta destinação dos resíduos.

De acordo com a CETESB (2008), os resíduos sólidos oriundos do processo *Kraft*, geralmente, são classificados como classe - II A e II B. Porém podem existir também resíduos classificados como classe - I, podendo oferecer riscos ao meio ambiente e vizinhança, em função de suas características, como é o caso do licor negro alcalino e corrosivo e da cal virgem alcalina e corrosiva; além de óleos e graxas, baterias, lâmpadas fluorescentes, lixos radioativos e hospitalares e ainda embalagens de produtos químicos (Foelkel, 2011b). É importante destacar também que os *dregs* e *grits*, devem ter sempre o pH controlado abaixo 12, pois do contrário, eles podem ser classificados como resíduos perigosos – Classe I, pelo fato de apresentar corrosividade¹¹ (Marques *et al.*, 2014).

Segundo Ribeiro (2012), a classificação, de alguns resíduos, como não inerte, ocorre em função da presença de sódio, cloro e sulfato, em concentrações acima dos limites aceitáveis pela norma. Os resíduos classificados como II B podem ser por exemplo, as sucatas metálicas e de construção civil e lixo seco das áreas administrativas (Foelkel, 2011b).

¹¹ Um resíduo é caracterizado como corrosivo (código de identificação D002) se uma amostra representativa dele, obtida segundo a ABNT NBR 10007, apresentar uma das seguintes propriedades:

- a) ser aquosa e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5, ou sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5;
- b) ser líquida ou, quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55°C, de acordo com USEPA SW 846 ou equivalente.

Quadro 1: Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade

| Classe I – Perigosos | |
|--|---|
| Resíduo sólido ou mistura de resíduo sólido que apresentem risco a saúde pública ou qualidade ambiental em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade. | |
| Classe II – Não Perigosos | |
| Classe II A – não inertes | Classe II B – inertes |
| Resíduos que não se enquadram na classificação do resíduo Classe I – perigosos ou do resíduo Classe II B – inertes. Podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubidade em água. | Resíduos que quando amostrados de forma representativa, de acordo com a ABNT:NBR 10.007 ¹² e submetidos a contato dinâmico e estático com a água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT:NBR 10.006 ¹³ , não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto, aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. |

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10.004 (2004).

¹² Norma que trata da amostragem de resíduos sólidos.

¹³ Norma que trata do procedimento para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

4

Práticas no Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

O gerenciamento de resíduos sólidos diz respeito as ações exercidas nas etapas de: coleta, transporte, transbordo, tratamento e disposição final, ambientalmente adequada, dos resíduos e rejeitos (PNRS, 2010).

No Brasil, a Lei de Crimes Ambientais, Lei Nº 9.605 de 1998, estabelece como crime o lançamento de resíduos sólidos em desacordo com o que estiver previsto em lei e regulamentos, estabelecendo em seu Art. 54, Parágrafo 2º, Inciso V, pena de reclusão de 1 a 5 anos (BRASIL, Lei Nº 9605/2008). Além da pena, quem lançar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos ou detritos, óleos ou substâncias oleosas em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou atos normativos estará sujeito à multa que pode variar de cinco mil a cinquenta milhões de reais, dependendo de laudo técnico elaborado pelo órgão ambiental, conforme Decreto Nº 6.514/2008, parágrafo único, art. 62, Inciso V (Brasil, Decreto 6.514/2008).

Além das questões legais, é muito importante que os gestores prezem pela imagem das empresas, pois o mercado de papel e celulose é voltado, principalmente, para a exportação, onde as cobranças por boas práticas são cada vez maiores. Até passado próximo os cuidados ambientais com os resíduos gerados no processo produtivo da celulose eram mínimos, sendo que, havia pouca atenção dos técnicos e gestores para com a geração e disposição final dos resíduos, o que levou a ocorrência de acidentes ambientais graves, como o ocorrido na Cataguases Indústria de Papel em 2003, e prejuízos enormes para a imagem do setor (Foelkel, 2011b).

Mesmo que os resíduos *dregs* e *grits* não sejam classificados como perigosos, possuem potencial de liberação de elementos químicos e, portanto, não são inertes, oferecendo riscos de contaminação do solo e da água, caso não ocorra o devido manejo e monitoramento. Além disto, as quantidades de resíduos sólidos geradas pela atividade também exigem um sistema efetivo de controle e gerenciamento (Ribeiro, 2010).

Um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos efetivo é aquele que atende a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos (Figura 11), estabelecida no art. 9º da PNRS de 2010: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição ambientalmente adequada

dos rejeitos (Ribeiro, 2010). Sabe-se que a não geração de resíduos na produção de um bem ou serviço é algo bastante difícil de alcançar, porém, é muito importante que as empresas trabalhem para aumentar a eficiência dos seus processos afim de reduzir na fonte a geração dos resíduos.

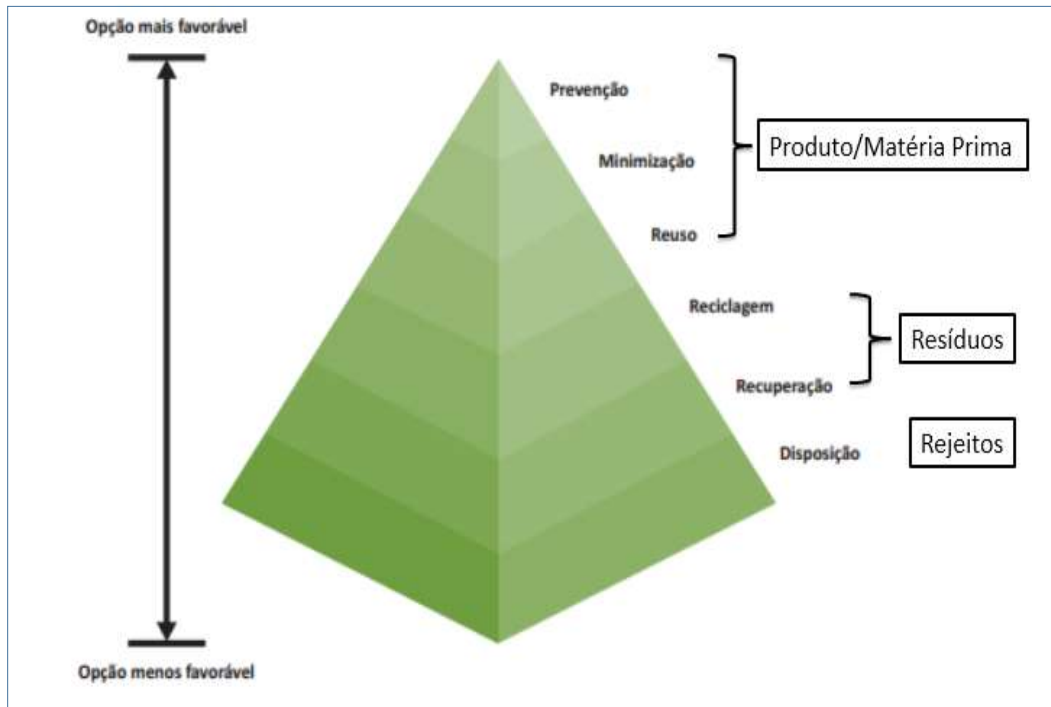


Figura 11: Prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos conforme a PNRS.
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2013).

Uma grande dificuldade das empresas deste setor é conciliar os interesses econômicos às exigências dos órgãos fiscalizadores e certificadores, devido aos custos operacionais da atividade de gestão dos resíduos, sendo a disposição dos resíduos, a atividade que mais demanda capital, podendo ser feita em aterros próprios ou em aterros industriais particulares, o que, encarece ainda mais a gestão dos resíduos (Paiva, 2007).

A disposição dos resíduos em aterro industrial teve origem na década 1970 em virtude do modelo de política ambiental que se baseava em parâmetros de emissão de multas para aqueles que lançassem seus resíduos sólidos, efluentes líquidos ou gasosos, no solo, ar ou água fora dos padrões ambientais (Paiva, 2007). Essa técnica de disposição, foi denominada de “solução de fim de tubo”, traduzido do termo inglês *end of pyping*, que nada mais é do que, a remediação do problema, não prevenindo a geração dos resíduos, apresentando altos custos, riscos ambientais e sociais.

Foi somente a partir de meados dos anos 90, em que, ocorreram mudanças mundiais no quesito ambiental, que as empresas se preocuparam em adotar uma postura mais adequada e passaram a se certificar conforme as normas e os processos de certificação ambiental e florestal (Paiva, 2007; Foelkel, 2011b).

Atualmente, a gestão dos resíduos sólidos das fabricas de celulose e papel evoluiu bastante no que diz respeito à disposição final (aterros industriais mais qualificados) e estímulos e ações de reciclagem para muitos dos resíduos (Foelkel, 2011b). Os investimentos diretos, das empresas do setor, nas questões relacionadas ao meio ambiente, incluindo-se o tratamento adequado dos resíduos sólidos, tem se mostrado crescente representando mais de 50% dos recursos aplicados em iniciativas de cunho social (Ribeiro, 2010).

Mesmo que a disposição em aterros industriais ainda seja, hoje, o tratamento mais conhecido e praticado pelas indústrias do setor, Ribeiro (2010), destaca que, de uma forma geral, as empresas têm se preocupado em melhorar a gestão de seus resíduos, buscando soluções mais inteligentes do que a simples disposição em aterro, que tem como fator limitante, a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração e a capacidade de armazenamento destas áreas.

Vale a pena destacar que, o aterramento dos resíduos, gera um custo significativo para o empreendimento, pois além dos custos com tratamento, transporte e disposição, devem ser considerados também, os custos de manutenção e monitoramento de forma contínua e por longo período de tempo, o que significa que mesmo após cessada a disposição ou encerrado o empreendimento, a empresa possui um passivo ambiental que continuará sob sua responsabilidade e gerando custos (Ribeiro, 2010).

Foelkel (2011b), diz que cada empresa possui sua forma de gerenciamento de resíduos, mas, de forma geral, as ações tomadas por elas, se enquadram em um dos 3 tipos de estratégias apresentadas a seguir:

- Estratégia 01: realização da compostagem de todos os resíduos Classe IIA de forma conjunta, sejam eles, lodos, cascas e resíduos minerais, e posterior aplicação como composto no solo florestal;
- Estratégia 02: segregação de todos os resíduos sólidos, fazendo o gerenciamento de acordo com o os nichos desenvolvidos para os diferentes subprodutos vendáveis a esses mercados;

- Estratégia 03: reciclagem de parte dos resíduos sólidos gerado para minimizar a quantidade aterrada. Aqueles não passíveis de reciclagem seguem sendo aterrados.

São líderes no sistema de gestão que aplica a Estratégia 01 a Cia Suzano de Papel e Celulose (unidade de Limeira/SP) e a International Paper do Brasil (unidades de Luiz Antônio e Mogi-Guaçu) ambas no estado de São Paulo. Aderem a Estratégia 02 a Veracel e a Celulose Riograndense que atuam em parceria com a empresa gestora de resíduos Vida – Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico. Por fim a Estratégia 03 é atualmente a mais praticada entre as empresas do setor no Brasil e no exterior, constando-se que existem então diversas oportunidades para que estas empresas mudem sua forma de gerir seus resíduos, mesmo levando em conta que o aterro industrial é uma prática adequada sob os princípios legais e alguns princípios de sustentabilidade (Foelkel, 2011b).

Por meio de contatos realizados pelos canais de comunicação de empresas como a Fibria, Suzano Papel e Celulose e a Klabin, foi possível concluir, que atualmente, estas empresas, estão estudando e colocando em prática novas tecnologias que possibilitem valorização dos seus resíduos.

A Fibria possui hoje um projeto de utilização dos resíduos *dregs* e *grits* como insumo agrícola, para corrigir a acidez de solo e aumentar a fertilidade, que está em andamento. Este projeto serviu como exemplo de valorização de resíduos e portanto é apresentado com maior detalhe no capítulo seguinte.

Na mesma linha da Fibria a Klabin está desenvolvendo o uso agrícola dos resíduos *dregs* e *grits*. Neste projeto os resíduos, que antes iam para aterro indústria, seguem para uma central de compostagem, na qual uma empresa parceira, faz a gestão dos resíduos produzindo um composto, juntamente com outros resíduos como cinzas da caldeira e lodo biológico. O produto ainda está em fase de licenciamento pelo MAPA e o objetivo é o uso interno e a comercialização do excedente.

A Klabin averiguou também a possibilidade utilização dos resíduos na fabricação de tijolos em parceria com olarias localizadas na região da fábrica da Klabin, entretanto, este trabalho foi inviabilizado em função da distância de 50 Km a serem percorridos e também pelo fato de a argila, principal matéria prima utilizada na fabricação dos tijolos, serem um material abundante.

A Suzano atua hoje em um projeto em parceria com o Instituto Federal do Maranhão – IFM, para o desenvolvimento de tijolos sustentáveis que levam em sua composição os *dregs* e *grits*.

Segundo Foelkel (2011b), a qualidade e o compromisso com a gestão dos resíduos sólidos são bastante variáveis, havendo muita inovação, esforço e determinação por parte de algumas empresas e em outras a situação é de descaso, desconhecimento e falta de comprometimento. O autor relata que apesar das diversas iniciativas de ponta, estado-da-arte mesmo em termos de centrais de reciclagem, ainda faltam ações de prevenção na geração e no adequado controle da qualidade dos resíduos que seguem para reciclagem, já que os técnicos das fábricas ao tomarem conhecimento da existência de um sistema que pode “sumir” com os resíduos acabam deixando de lado a preocupação em controlar e minimizar a sua geração.

5. Valorização dos resíduos *dregs* e *grits*

Para Foelkel (2008), os resíduos sólidos são matérias-primas perdidas por um processo produtivo, mas que podem vir a se tornar um material útil em outros processos ou serviços. Desta forma, as mudanças no gerenciamento de resíduos sólidos são fundamentais para otimizar o uso deste material na própria cadeia produtiva, ou até mesmo, em outros processos, como determina os princípios da economia circular.

Ao fazer uso de uma tecnologia que permita agregar valor aos *dregs* e *grits* possibilitando a inserção dos mesmos em uma nova cadeia produtiva, os recursos naturais estão sendo preservados e aprimorados, uma vez que, ocorre a circulação de produtos, componentes e materiais contribuindo para otimização dos recursos, ou seja, produzir mais extraindo menos. Ademais a valorização dos resíduos irá contribuir também para minimizar a quantidade de material a ser aterrado, reduzindo os riscos de contaminação do solo e da água e aumentando a vida útil dos aterros que, necessitam de grandes áreas territoriais.

Sendo assim, o meio empresarial, cada vez mais, tem dado atenção às soluções que minimizem a necessidade de disposição de seus resíduos em aterro. Além do fator ambiental, os fatores social e econômico também têm influenciado na busca por melhores tecnologias de tratamento de resíduos, já que, de acordo com Paiva (2007), o aproveitamento dos resíduos pode resultar numa economia referente aos custos de transporte e disposição e pode ainda gerar um retorno econômico com a comercialização dos mesmos além de melhorar a imagem da empresa perante a sociedade.

O meio acadêmico tem contribuído com o setor através pesquisas que tenham como objetivo avaliar as potenciais vias de valorização dos resíduos sólidos oriundos do processo produtivo de papel e celulose.

5.1

Potenciais vias de valorização

Através da pesquisa bibliográfica realizada, foi possível identificar diversas oportunidades para a valorização dos *dregs* e *grits*. Foekel (1986) verificou o potencial de aproveitamento de resíduos *dregs* e *grits* da empresa Riocell, onde trabalhava naquela época, como corretivo de solo e fertilizante agrícola. Os resultados encontrados pelo autor confirmou o potencial de utilização como corretivos de acidez do solo e fertilizante agrícola, uma vez que os *dregs* e *grits* possuem quantidades suficiente de compostos como cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco e de matéria orgânica e, além disto, os valores médios de neutralização de 72,12 % para os *dregs*, de 99,46 % para os *grits* e de 83,83 % para o uso combinado de ambos, confirmam o potencial destes resíduos para a utilização como corretivo de solo e fertilizante agrícola.

Medeiros *et al.* (2009), averiguou a hipótese de que, o uso do resíduo *dregs* como corretivo de acidez de solo, pode ser tão vantajoso ou mais do que os corretivos convencionais, como o calcário, por exemplo. O estudo avaliou o desempenho do resíduo aplicado na superfície de um solo e o desempenho da cultura de trigo nos quesitos produtividade de grãos e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal.

Lunardi Neto *et al.* (2008), avaliaram o efeito da aplicação de corretivos, da adubação e da revegetação nas propriedades físicas de um solo reconstruído após mineração a céu aberto. Marques *et al.* (2014), estudou a utilização dos resíduos *dregs* e *grits* como agregados na produção de argamassa. Já Silva (2010), realizou uma pesquisa cujo o objetivo principal foi a avaliação, em laboratório, das propriedades físicas e mecânicas de misturas constituídas de solo, cal e resíduos da fabricação de papel, incluindo-se os *dregs* e os *grits*, visando a utilização na construção rodoviária.

Torres (2016), estudou a viabilidade técnica da utilização dos *dregs* e *grits* em proporções variadas como matéria prima, em substituição ao clínquer, na indústria de cimento. Rodrigues *et al.* (2016) realizou a caracterização dos resíduos sólidos inorgânicos, *dregs*, *grits* e lama de cal, visando avaliar o potencial uso dos mesmos como matéria-prima alternativa no desenvolvimento de materiais cerâmicos

(cerâmica vermelha e cimentantes). Os resultados alcançados em cada pesquisa são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Oportunidades para valorização dos *dregs* e *grits* oriundos da fabricação de celulose *Kraft*

| Forma de Valorização | Autor | Resultados |
|--|------------------------------------|--|
| Corretivo de acidez do solo ou fertilizante mineral ou organomineral | Foelkel (1986) | É possível utilizar os <i>dregs</i> e <i>grits</i> como corretivos de acidez de solo em substituição ao calcário, uma vez que os mesmos possuem teores suficientes de cálcio, magnésio e enxofre, fundamentais para a correção do pH do solo. Além estes resíduos podem ser utilizados como fertilizantes agrícolas por possuírem as quantidades suficientes de elementos químicos. Não se observou contraindicações quanto a presença de metais pesados e substâncias mutagênicas, causadores de anomalias cromossômicas. |
| | Medeiros <i>et. al.</i> (2009) | A aplicação do resíduo <i>dregs</i> promoveu a melhoria dos atributos químicos do solo, especialmente nas camadas mais superficiais, e aumentou a produtividade de grãos de trigo, porém aumentou a relação Ca/Mg e os teores de Na, mas mesmo assim o teor de Na ficou abaixo do limite crítico aceitável de 5 %. |
| Recuperação de solo em áreas da mineração. | Lunardi Neto <i>et. al.</i> (2008) | O tratamento com <i>dregs</i> resultou na elevação do pH do solo e a dispersão da argila foi praticamente zero. Desta forma os autores consideram o uso dos <i>dregs</i> para recuperação de solos ácidos e reconstruídos como uma alternativa viável. |
| Agregados em pavimentação asfáltica | Silva (2010) | Apesar da adição dos resíduos na mistura resultarem na redução das propriedades mecânicas, ainda sim, atendem as especificações técnicas estabelecidas em normas. Portanto, a utilização dos resíduos na mistura solo e cal na construção rodoviária é uma solução viável. |
| Agregados na produção de argamassa | Marques <i>et. al.</i> (2014) | Os resultados obtidos foram satisfatórios, indicando um aproveitamento do resíduo na produção de argamassa para revestimento de paredes, substituindo 10 % em massa de agregado. |
| Utilização na indústria de cimento e de cerâmica | Torres <i>et. al.</i> (2017) | Os <i>dregs</i> e <i>grits</i> possuem em sua composição, compostos compatíveis à produção de cimento Portland. Portanto estes resíduos apresentam grande potencial para serem incorporados ao clínquer para a produção de cimento Portland. |
| | Rodrigues <i>et. al.</i> (2016) | A composição química dos <i>dregs</i> e <i>grits</i> assim como da lama de cal, indicam que estes podem ser utilizados como fonte de CaCO ₃ para a fabricação de cimento. Porém a elevada perda ao fogo indica que o uso na produção de |

| | | |
|--|--|---|
| | | materiais cerâmicos sintetizados deve ser feita de forma limitada, como matéria prima secundária, para não comprometer a resistência mecânica, em virtude do aumento na porosidade. |
|--|--|---|

Em alguns casos, o uso dos resíduos apresentou resultados, até mesmo, superiores, ao de materiais utilizados tradicionalmente, como é o caso do calcário para a correção de acidez de solo e recuperação de solo de áreas mineradas. O que não ocorreu no terceiro e no último caso. Entretanto, todos eles apresentaram potencial para agregar valor ao resíduo, favorecendo o seu gerenciamento e contribuindo com a conservação dos recursos naturais, em vista da redução da extração de novos recursos e das taxas de aterramento de forma a preservar grandes áreas, necessárias, para o funcionamento de um aterro industrial.

Pretendendo demonstrar benefícios que podem ser alcançados com a adoção de práticas que apresentam potencial para valorizar os resíduos *dregs* e *grits* esta pesquisa direcionou-se a Fibria, uma importante empresa do setor, que atualmente adota como prática no gerenciamento dos seus resíduos o uso dos *dregs* e *grits* como insumo agrícola para correção de acidez do solo.

5.2

Utilização como insumo agrícola

De acordo com Foelkel (1986), a maioria dos solos agrícolas brasileiros apresentam pH menor 5,5, e portanto são considerados como solos ácidos. Estes solos ácidos possuem uma menor disponibilidade de macronutrientes como, por exemplo, o fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio. Estes são elementos essenciais ao crescimento das plantas e vegetais, que são absorvidos em maiores quantidades.

A acidez do solo é um empecilho para produção agrícola. Entretanto este problema pode ser corrigido através da aplicação de corretivos de acidez de solo. A correção do pH do solo proporciona a absorção máxima de nutrientes para a grande maioria de plantas e vegetais e ainda reduz a disponibilidade de elementos tóxicos aumentando a produtividade agrícola (Foelkel, 1986). O calcário, é hoje, o corretivo de acidez do solo mais utilizado e é a principal fonte de cálcio para os plantios florestais. Porém este corretivo apresenta uma mobilidade lenta no perfil

do solo e, portanto, a correção da acidez do solo também se dá de forma lenta e ocorre apenas nas camadas mais superficiais (Pértile, 2011). Sendo assim, se torna interessante encontrar outros materiais que possam também ter a função de corrigir a acidez do solo, objetivando a substituição do calcário.

O uso dos *dregs* e *grits* como corretivo de solo e/ou fertilizantes, é, hoje, uma das vias de valorização mais estudadas. Foelkel (1986) diz que para avaliar a viabilidade do uso dos *dregs* e *grits* como corretivos de acidez de solo é interessantes que se faça a comparação com o uso do calcário.

Como dito anteriormente Foelkel (1986), confirmou em sua pesquisa que os resíduos alcalinos como os *dregs* e *grits* possuem capacidade de serem utilizados como corretivos de acidez de solo, substituindo o calcário, sendo que o uso combinado dos *dregs* e *grits* apresenta uma solubilidade mais elevada e proporciona a neutralização da acidez do solo de forma mais rápida do que o calcário. De acordo com Lunardi Neto *et al.* (2008), o *dregs* difere-se do calcário, por se composto principalmente por cálcio e em quantidades menores por magnésio, e pode ainda, apresentar altas quantidades de sódio.

É importante ressaltar que quantidade de sódio adicionada ao solo e a relação molar Ca/Mg são fatores limitantes na substituição total do calcário pelo corretivo contendo os resíduos *dregs* e *grits*, visto que, os altos teores de sódio, podem dispersar e diminuir a permeabilidade da água e do ar no solo, prejudicando o manejo; e a alta relação Ca/Mg pode provocar a falta de magnésio às plantas (Medeiros, *et al.*, 2009; Pértile, 2011).

Desta forma, o uso dos resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose, como corretivo de acidez de solo, pode sim, ser uma alternativa viável para minimizar as quantidades de resíduos a serem aterrados e aumentar a fertilidade do solo, desde que respeitada a frequência de aplicação e os limites para a relação Ca/Mg e para a quantidade de sódio adicionada ao solo.

Além de conhecer muito bem a origem e as características dos resíduos, para garantir a segurança e a viabilidade do uso agrícola destes materiais deve-se levar em conta também o tipo de atividade agrícola a ser atendida, o tipo de solo da região, uma vez que, solos distintos podem se comportar de maneiras diferentes.

A legislação, que regula o uso de resíduos industriais na agricultura é outro fator que deve ser considerado. É muito importante que o uso destes resíduos industriais como corretivo de solo ou fertilizante estejam sempre de acordo com os

parâmetros e limites estabelecidos nas normas. Pois caso contrário podem comprometer a qualidade dos corpos hídricos através da contaminação por metais pesados e organismos patogênicos o quais podem também afetar as características e qualidade dos solos prejudicando o meio ambiente, a saúde e segurança da população. O pH é um dos parâmetro que deve ser sempre controlado abaixo de 12 afim de evitar que os *dregs* e *grits* apresentem características de corrosividade e consequentemente sejam classificados como resíduos perigosos – classe I.

5.2.1

Legislação aplicada

A engenharia sanitária convencional, considera como a tecnologia ambiental mais segura para o tratamento dos resíduos, o confinamento em aterros (Maltz, 2008). Porém conceitos inovadores como a Economia Circular, incentivam a valorização dos resíduos almejando um novo uso aos mesmos.

Desta forma, a utilização dos resíduos industriais na agricultura surge como uma alternativa mais interessante tanto do ponto de vista ambiental como econômico, mas, é preciso conhecer os efeitos sobre a espécie vegetal de interesse e além disto este uso deve ser avaliado com máxima cautela, para evitar que não se torne em uma fonte de contaminação da água, do solo e principalmente da saúde pública (Silva, 2010; Maltz, 2008).

De acordo com Maltz (2008), o primeiro passo é definir qual será a finalidade da utilização do resíduo, averiguando se o mesmo, possui os elementos que justifiquem sua utilização como insumo agrícola e assim substituir algum outro recurso natural utilizado pelo setor. Em seguida é preciso verificar se o resíduo pode ser utilizado sem causar agravos ao meio ambiente. E é neste sentido que a legislação atua.

Segundo Silva (2010), atualmente no Brasil, não existe uma legislação específica para a utilização de resíduos gerados na indústria de papel e celulose na produção agrícola ou florestal. Entretanto, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, permite a produção de insumos agrícolas a partir de matérias primas de origens: agrícola, animal, mineral, industrial, esgoto urbano e resíduo urbano, desde que o produtor tenha autorização para exercer tal atividade e respeite os requisitos normativos, como, garantir a viabilidade e eficiência

agronômica do produto, conforme disposto na Instrução Normativa - IN do MAPA Nº6 de 2016 e no Decreto Nº 8.384 de 2014, que estabelece as normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura.

Sendo assim, para fazer o uso de um resíduo industrial como corretivo de solo é preciso ter o registro e uso autorizado pelo MAPA, respeitando os parâmetros de qualidade referentes à presença de contaminantes e à garantia do benefício agrônômico.

De acordo com a Decreto Nº 8.384 de 2014 art, 2º, parágrafo IV, corretivo é o produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais.

Os corretivos de solo, independentemente da origem, devem respeitar os limites máximos de Cd e Pb, estabelecidos pela IN da Secretaria de Defesa Agropecuária - SDA, Nº 24 de 2006. A mesma norma deve ser respeitada para os fertilizantes minerais, considerando-se limites máximos para os metais (As, Cd, Pb, Cr, Hg). No caso do uso como fertilizantes orgânicos e condicionantes de solo devem respeitar os limites máximos de metais pesados (As, Cd, Pb, Cr, Hg, Ni e Se) e organismos patogênicos, estabelecido pela IN SDA Nº 7 de 2016, a qual altera os Anexos IV e V da IN SDA Nº 24 de 2006.

Apenas a título de conhecimento, nos Estados Unidos e em países europeus, por exemplo, a aplicação agrícola de resíduos industriais, geralmente, é tratada com a mesma norma desenvolvida para o uso do lodo de esgoto orgânico. Em ambas os casos, a legislação baseia-se na concentração de metais pesados, sendo nos Estados Unidos levando em conta nove metais (As, Cd, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn) e na União Européia sete (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn). Além da concentração de metais pesados o E.U.A considera também a concentração de organismos patogênicos ao homem, como coliformes fecais e Salmonella (Maltz, 2008). No Brasil, a Deliberação CONAMA Nº 375 de 2006, define os critérios e procedimentos, como limites de aplicação e monitoramento dos locais de aplicação, do uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus

produtos derivados, porém esta norma não se aplica aos resíduos de origem industrial.

5.3

O caso da Fibria

Atualmente a Fibria conta com a operação de 4 unidades fabris, Jacareí (SP), Três Lagoas (MS) e Aracruz (ES) e uma “*join venture*” a Veracel em Eunápolis (BA), com capacidade produtiva de 5,3 milhões de toneladas de celulose ao ano. A logística é composta por modais rodoviário, ferroviário e marítimo objetivando o transporte eficiente desde a madeira prima até o produto final (Figura 12) (Fibria, 2016b).

A área florestal pertencente a empresa corresponde a 969 mil hectares, sendo 343 mil hectares destinados a conservação de ecossistemas nativos, distribuídos por seis estados brasileiros: Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro.

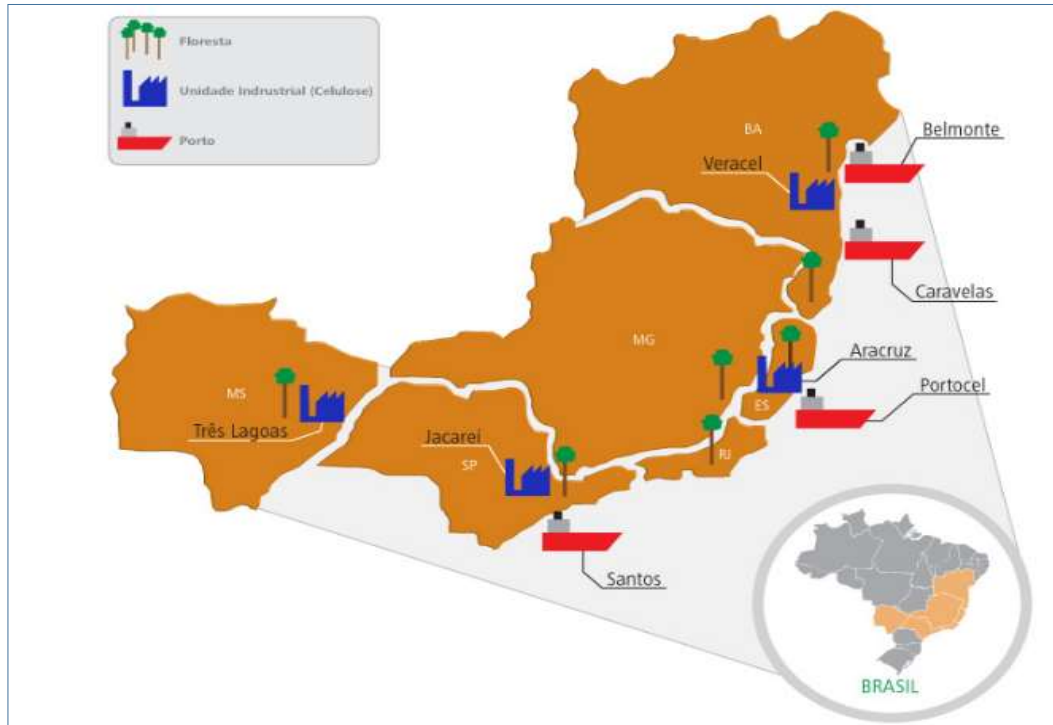


Figura 12: Unidades Produtivas da Fibria.
Fonte: Fibria (2016b).

A geração e compartilhamento de valor com públicos distintos e cada vez mais exigentes é uma busca constante. A empresa preza pela sustentabilidade em todas as etapas do seu processo de produção e leva em conta o conceito dos 4Rs – repensar, reduzir na fonte, reciclar e reusar, na gestão integrada de água, resíduos e energia. (Fibria, 2016c).

No que diz respeito a gestão dos resíduos, a Fibria vem evoluindo de forma constante e incorporando os conceitos da Economia Circular na gestão de seus resíduos. A empresa considera os resíduos como subprodutos do seu processo produtivo e atualmente conta com projetos de reaproveitamento dos seus resíduos sólidos industriais, em que, a parcela passível de reaproveitamento interno é utilizada pela empresa e a outra parte é doada e comercializada como matéria prima para outros setores industriais. Esta iniciativa inovadora tem trazido diversas vantagens para a empresa.

Em 2016, o investimento em projetos relacionados aos resíduos foi cerca de R\$ 7,2 milhões. Neste mesmo ano, foram comercializadas 886 mil toneladas de resíduos industriais, o que totalizou um montante de R\$ 4,2 milhões e evitou um custo de R\$ 31,8 milhões referente ao aterramento dos resíduos (Fibria, 2016c). A valorização destes resíduos contribui não só com as questões econômicas, mas também com a minimização das externalidades negativas causada pelos impactos decorrentes do aterramento. Um dos projetos que colaborou com estes resultados, diz respeito a planta de produção de corretivo de acidez de solo, nas unidades de Jacareí (SP) e Três Lagoas (MS).

De acordo com a Fibria (2017), o projeto consiste na secagem e mistura dos resíduos industriais (*dregs, grits*, lama de cal e cinzas da caldeira) que servirão como matéria prima para a produção do insumo agrícola, substituindo o calcário, que era antes, utilizado como corretivo pela Fibria. É importante ressaltar que esta pesquisa não teve acesso à composição físico-química deste material, porém de acordo com dados publicados pela Fibria (2017), o insumo é composto basicamente por resíduos inorgânicos, que contém o cálcio e o magnésio responsáveis pela fertilização. Outro fator importante é que o subproduto da empresa é licenciado pelo MAPA e possui autorização necessária para a utilização como corretivo de solo, a qual, garante o atendimento dos requisitos ou limitação do uso agrícola sob o aspecto ambiental e avalia também a presença de contaminantes e seus respectivos teores.

A Figura 13, apresenta a planta de corretivo de solo da unidade de Jacaré (SP). A utilização do insumo em suas florestas de eucalipto, reduz o uso de calcário, contribui com a eco-eficiência da produção de celulose e, no caso específico da unidade de Jacaré (SP), fomenta a produção agrícola local, já que o excedente do insumo é doado para pequenos produtores rurais da região, através de uma parceria firmada entre a Fibria e a Prefeitura Municipal de Jacaré. Desta forma o material é utilizado como insumo agrícola nas pequenas propriedades rurais de produtores associados ao Programa Patrulha Agrícola da Secretária Municipal de Desenvolvimento Econômico, possibilitando uma produtividade agrícola maior (Fibria, 2017).



Figura 13: Planta de produção de corretivo de acidez de solo da Fibria em Jacaré (SP).
Fonte: Fibria (2016d).

Em 2017, a Fibria divulgou que foram doadas 2 mil toneladas de insumo aos pequenos produtores na região de Jacaré (SP) em 2016, e o resultado tem sido satisfatório. Antônio Honorato de Oliveira é um dos produtores contemplados pelo programa e disse em seu depoimento à Fibria que, o efeito do produto foi mais rápido e nutriu melhor o solo em comparação com o calcário. Antônio produz morango, abobora, quiabo, pepino e mandioca e relata também que recebeu a visita de um engenheiro agrônomo que o orientou sobre as quantidades de aplicação, desta forma o agricultor diz ter hoje uma produção bem melhor (Fibria, 2017).

Com a adoção das práticas que consideram o modelo de consumo circular para o desenvolvimento de um novo produto utilizando resíduos do processo produtivo a empresa se mostra focada na sustentabilidade econômica, social e

ambiental e desta maneira pôde alcançar diversos benefícios , dentre eles: o lucro indireto ao se precaver das multas inerentes a um acidente ambiental; o lucro direto ao economizar na aquisição de corretivo de solo no mercado, ao deixar de pagar pelo transporte e aterramento dos resíduos, ao comercializar o subproduto no mercado; melhoria da imagem do setor perante ao mercado consumidor e sociedade; ganhos sociais através da redução do impacto ambiental na comunidade local e ao incentivar produtores rurais, que são favorecidos com o aumento da produtividade agrícola.

6. Considerações finais

O processo de produção de papel e celulose tipo Kraft é o mais utilizado mundialmente e é considerado com um processo de ciclo fechado por possuir uma unidade de recuperação química de reagentes utilizados para o cozimento da madeira. Os resíduos gerados neste processo, como os *dregs* e *grits*, precisam ser destinados de forma adequada minimizando as externalidades negativas associadas à disposição e ao acúmulo dos resíduos no solo.

Com o desenvolvimento desta pesquisa notou-se que setor de papel e celulose vem, cada vez mais, demonstrando interesse na adoção de práticas mais sustentáveis na gestão de seus resíduos, em função não só do cumprimento dos requisitos legais, mas também em função da oportunidade de transformar um passivo ambiental em um novo produto com potencial de reutilização e comercialização.

O setor tem feito parcerias com o meio acadêmico, o qual, vem contribuindo no que diz respeito ao desenvolvimento de trabalhos que tenham como objetivo averiguar a viabilidade do uso dos resíduos *dregs* e *grits* em outros setores como por exemplo, na agricultura como corretivos de acidez de solo, na indústria da cerâmica, na recuperação de áreas degradadas por extração mineral e na estabilização de resíduos de minas, na construção rodoviária e na construção civil como agregados para a produção de argamassa, entre outros.

O uso como insumo agrícola para a correção da acidez do solo, consiste em um dos meios de valorização mais estudados e já é utilizado por algumas empresas do setor de papel e celulose. Este uso se mostra como uma forma viável de valorização de *dregs* e *grits*, em função da composição favorável destes resíduos, que apresentam teores suficientes de elementos necessários à correção de acidez do solo e baixos teores de contaminantes ambientais, como por exemplo, metais pesados. Para que a viabilidade seja comprovada, é indispensável que a composição físico-química seja sempre avaliada atentando-se para a presença e os teores de contaminantes como é o caso dos metais pesados. Estes teores sempre devem ser mantidos dentro dos limites estabelecidos na legislação que regula o uso de resíduos industriais como insumo agrícola. O respeito a legislação é fundamental para

garantir que este uso se dê de forma eficiente e segura precavendo-se da possibilidade de degradação do solo, dos corpos hídricos e principalmente da saúde pública.

A caracterização e classificação do resíduo assim como o conhecimento acerca do tipo de cultura e tipo de solo em que se pretende trabalhar são fatores indispensáveis para confirmar a viabilidade agrônômica do uso dos *dregs* e *grits* como corretivo de acidez do solo, visto que, a formulação de corretivos de solo deve ser feita conforme as necessidades agrônômicas de cada local e tipo de cultura. É importante destacar que a agricultura não deve ser vista como um local de descarte de resíduos industriais, mas sim, como potencial mercado consumidor de um produto com qualidade agrônômica e segurança ambiental comprovada.

Após as devidas considerações, apresentam-se os benefícios identificados, através da realização desta pesquisa, acerca da adoção de práticas que levem em conta os conceitos e princípios da Economia Circular na gestão dos resíduos sólidos industriais da produção de papel e celulose tipo *Kraft*. Foram identificados benefícios ambientais, econômicos e sociais.

Foram identificados benefícios ambientais, pois ao valorizar um resíduo, os recursos naturais não renováveis estão sendo preservados pois a valorização permite que o resíduo seja transformado em um novo produto possibilitando a substituição de um recurso a ser extraído da natureza. A valorização dos resíduos também reduz as quantidades de material destinados aos aterros e com isso aumenta a vida útil dos aterros evitando a ocupação de novas áreas territoriais e consequentemente diminui as chances de contaminação da água e do solo.

As empresas se beneficiam economicamente pois deixam de ter os custos referentes ao transporte e ao aterramento dos resíduos e além disto previnem-se de multas e penalidades inerentes à um acidente ambiental. Lembrando que o aterro, mesmo que encerrada a atividade industrial, continuam a gerar despesas para o empreendimento pois devem ser constantemente monitorados. A comercialização do subproduto e a economia na aquisição de novos produtos no mercado, quando o resíduo valorizado possui potencial de utilização interna para a empresa, também são considerados como benefícios econômicos.

Outro ganho identificado é que com a adoção de tecnologias de valorização, as empresas passam uma imagem melhor para o mercado consumidor, extremamente exigente, e para a sociedade.

A sociedade também se beneficia, ao passo que, a preservação dos recursos naturais, leva a um meio ambiente mais equilibrando, permitindo uma melhor qualidade de vida a todos. Em alguns casos, as comunidades do entorno destes empreendimentos podem ser beneficiadas através destas ações de valorização, pois quando há um subproduto que possa ser de interesse da sociedade as empresas podem doar parte do subproduto que sobra, podendo ser utilizado como corretivo de acidez de solo.

Alguns dos benefícios citados podem ter resultados perceptíveis de forma imediata ou em um intervalo de tempo menor, sendo considerados de curto prazo como, por exemplo, a preservação dos recursos não renováveis; redução de gastos com transporte e aterramento dos resíduos; o lucro com a comercialização de subprodutos e a economia na aquisição de insumos de produção. Já outros podem precisar um intervalo de tempo maior para que os resultados sejam notados sendo considerados de longo prazo como, por exemplo, a melhoria da imagem da empresa.

7. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para economia de baixo carbono – Caderno 2: nota técnica papel e celulose.** 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/18520/GVces_Nota%20t%C3%A9cnica%20papel_celulose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 out. 2017.

AGUIAR, B. B. A. de; CARDOSO, M & JUNIOR, FERREIRA, E. Da C. J. **Modelagem e simulação dinâmica da fase gasosa de um forno rotativo para indústria da celulose.** E-xacta, Belo Horizonte. v.9, n. 2, p. 51-63. 2016.

ALMEIDA, B. **Em Cataguases, barragem de rejeitos rompida foi desativada após acidente em 2003.** Globo - G1, Zona da Mata, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/11/em-cataguases-barragem-rompida-foi-desativada-apos-acidente-em-2003.html>>. Acesso em 24 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Resíduos sólidos – Manual de boas práticas no planejamento.** 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2013/03/Manual-Boas-Praticas.pdf>>. Acesso em 03 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004:** resíduos sólidos classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ALVES, E. D.; PINHEIRO, O. S.; COSTA, A. O. S. da. & JUNIOR, E. F. da C. **Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal.** Liberato v. 16, n. 26, 2015.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. **Utilização de resíduos da produção de celulose.** Revista da Madeira – REMADE. Curitiba, v. 77, nov. 2003.

BENYUS J, M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza.** Tradução Milton Chaves de Almeida. São Paulo: Editora Cultrix. 1997. 302 p. Título original: Biomimicry.

BRASIL. **Decreto Nº 6.514** de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providencias. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm>. Acesso em 07 ago. 2017.

_____. **Decreto Nº 8.384**, de 29 de dezembro de 2014. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm#art1>. Acesso em 07 fev. 2018.

_____. **Lei Nº 9.605** de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em 07 ago. 2017.

_____. **Lei Nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Último acesso em 09 jun. 2017.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 27** de 05 de junho de 2006. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>>. Acesso em 07 fev. 2018.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 53** de 23 de outubro de 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-6-de-10-3-16.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2018.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 6** de 14 de março de 2016. Altera a Instrução Normativa nº 53 de 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317445>>. Acesso em 07 fev. 2018.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº7** de 12 de abril de 2016. Altera os Anexos IV e V da Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006. Disponível em: <https://www.lex.com.br/legis_27129277_INSTRUCAO_NORMATIVA_N_7_DE_12_DE_ABRIL_DE_2016.aspx>. Acesso em 07 fev. 2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – BEM**, 2016: Ano base 2015. Rio de Janeiro – RJ, 2016. 292 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2016+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAs+-+Ingl%C3%AAs+%28PDF%29/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff?version=1.1>>. Acesso em 26 out. 2017.

CASTRO, H. F.de. **Processos químicos industriais II: Papel e Celulose**. Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose – Série P + L**. 2008. 50 p. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo – SP. Disponível em: <<http://abtcp.org.br/DOCS/GUIA20P+L.pdf>>. Acesso em 01 de ago. 2017.

CIRCULAR ECONOMY PORTUGAL. **Como nasceu a economia circular?** 2017. Disponível em: <<https://www.circulareconomy.pt/copy-of-sobre-economia-circular>>. Acesso em 12 set. 2017.

CLIFT, R. & ALLWOOD, J. **Rethinking the economy**. 2011. The Chemical Engineer. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/297091839_Rethinking_the_economy>. Acesso em: 28 set. 2017.

CORREIA, F. M. **Análise de distúrbios de compactação de cavacos de eucalipto em digestores contínuos fase vapor**. Viçosa, 2010. 146 p.. Dissertação de Mestrado (mestre em tecnologia do papel e celulose). Universidade de Viçosa.

DEMAJOROVIC, J. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos**. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v. 35, n. 3, p.88-93 mai/jun. 1995.

DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E PESQUISAS ECONÔMICAS – DEPEC & BANCO BRASILEIRO DE DESCONTOS – BRADESCO. 2017. **Papel e Celulose**. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_papel_e_celulose.pdf>. Acesso em 03 out. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. 2013. **Towards the Circular Economy**, vol, 1: an economic and business rationale for an accelerated transition.

_____. 2015. **Rumo a economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-%C3%A0-economia-circular_SumarioExecutivo.pdf>. Acesso em 19 de set. 2017.

FAGUNDES, M. B. B.; VIANA, C. C. de O.; SAUER, L. & FIGUEIREDO, J. de C. **As estratégias de internacionalização da indústria brasileira de papel e celulose sob a ótica do paradigma eclético: estudo de caso da empresa Suzano Papel e Celulose**. Revista Ibero-Americana de Estratégia – RIAE, São Paulo, v.11, n. 3, p 205-233, set/dez. 2012.

FERREIRA, D. J. de O. **Modelagem de caldeira de recuperação química kraft**. São Paulo – SP, 2013. 238 p. Tese de Doutorado (Doutor em Ciências). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FIBRIA. **O processo de produção de celulose na Fibria – completo**. 2016a. Disponível em: <<http://www.fibria.com.br/r2016/pt/processo-de-producao.html>>. Acesso em 09 mar. 2018.

_____. **Onde estamos.** 2016b. Disponível em: <http://www.fibria.com.br/institucional/onde-estamos/>. Acesso em 10 mar. 2018.

_____. **Relatório de Sustentabilidade – ano base 2016.** 2016c. Disponível em: <http://www.fibria.com.br/r2016/pt/>>. Acesso em 05 mar. 2018.

_____. **Resíduos do processo de produção da Fibria são transformados em corretivo de acidez de solo e beneficiam produtores em Jacareí (SP).** 2017. Disponível em: <http://www.fibria.com.br/midia/releases/residuos-do-processo-de-producao-da-fibria-sao-transformados-em-corretivo-de-acidez-do-solo-e-beneficiam-produtores-rurais-em-jacarei-sp/>>. Acesso em 03 fev. 2018.

FOELKEL, C. **Eucalyptus online book: Resíduos sólidos indústrias do processo de fabricação de celulose kraft. Parte 02: fatores de sucesso para seu gerenciamento.** 2008. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

_____, C. **Eucalyptus online book: Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose kraft.** Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT16_IndividualizacaoFibras.pdf>. Acesso em 13 ago. 2017.

_____, C. **A sustentabilidade na rede de valor da celulose e papel de eucalipto.** Eucalyptus Newsletter n° 36. 2011a. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/newspt_agosto11.html#quatorze>. Acesso em: 02 out. 2017.

_____, C. **Eucalyptus online book: Resíduos sólidos indústrias do processo de fabricação de celulose kraft. Parte 5: resíduos minerais.** 2011b. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

FORTUNATTO, A. C. **Alternativas para o aproveitamento do licor negro da indústria de papel e celulose.** 2014. 81 f. Monografia (Conclusão de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no setor Energético). Instituto de Energia e Ambiente. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

FRACARO, G. de P. M. **Eficiência energética e intensidade de emissões no setor de papel e celulose brasileiro.** Cascavel – PR, 2012. 90 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

FRAGA, M. A. C. H. de C. **A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e cartão.** Lisboa, 2017. 122 p. Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia e Gestão Industrial). Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

GEJER, L. & TENNEMBAUM, C. **Cradle to cradle: ciclo técnico e ciclo biológico.** 2017.

GUERRA M. A. de S. L. **Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose.**

Viçosa – MG, 2007. 70 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa,

HERRERA J.; WALDEMAR C. C. **Avaliação do potencial de utilização do “dregs” e do “grits” como corretivo de acidez e fertilizantes na agricultura.** Congresso Anual da ABCP, 19, 1986, São Paulo, p. 465-484. Disponível em: http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/14_1986_dregs%20e%20grits%20corretivos%20acidez%20solos.pdf. Acesso em 03 jun. 2017.

IBEMA. **Brasil entre os maiores produtores de papel do mundo**, 2016. Disponível em: <http://www.ibema.com.br/noticias/Paginas/LerNoticia.aspx?noticia=227>>. Acesso em 20 jun. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. **Relatório anual**, 2017. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em 02 out. 2017.

LAURINDO, M. **A viabilidade da economia circular à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei Nº 12.305 de 02 de agosto 2010.** Florianópolis, 2016. 62 p. Monografia (bacharel em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina.

LEITÃO, A. **Repensar a economia futura: a Economia Circular. Portuguese.** Journal of Finance, Management and Accounting. Vol. 1, n. 2, 2015. Disponível em: < <http://u3isjournal.isvouga.pt/index.php/PJFMA/article/view/114/52>>. Acesso em 12 set. 2017.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C. & ALBERTON, A. **Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, n. 32, p. 1379-1388, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a02v32n4.pdf> >. Acesso em 28 jan. 2018.

MALTZ, R. **Comparação do uso agrícola dos resíduos da celulose e a legislação internacional.** 2008. Disponível em: < http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Comparacao_uso_agricola.pdf>. Acesso em 06 fev. 2018.

MANKIW, N, G. **Introdução à economia.** São Paulo: Cengage learning, 2009.

MARQUES, M. L.; SILVA, E. J. da; VELASCO, F. G. & JUNIOR, C. C. M. F. **Potencialidades do uso de resíduos de celulose (dregs/grits) como agregado em argamassas.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. Campina Grande, v-16, n.4, p. 423-431, 2014. Disponível em:< <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev164/Art16410.pdf> >. Acesso em 10 jun. 2017.

MATIAS, D.V. S. **Análise do potencial de valorização dos resíduos de Licor Verde da Indústria de Pasta de Papel.** Coimbra, 2012. 69 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia do meio ambiente – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

MEDEIROS C. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; BATISTELLA F.; GRAH, J. **Calagem superficial com resíduo alcalino na indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol. 33, n.6, p. 1657-1665. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n6/a14v33n6.pdf>>. Acesso em 28 jan. 2018.

MENONN A. & MENONN A. **Enviropreneurial Marketing Strategy: The Emergence of Corporate Environmentalism as Market Strategy.** Journal of Marketing. Oklahoma. v.61, n. 5, p.51-67. 1997. Disponível em: <<https://faculty.fuqua.duke.edu/~moorman/Marketing-Strategy-Seminar-2015/Session%2012/Menon%20and%20Menon.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

MIELI, J. C. A. **Sistema de avaliação ambiental na indústria de papel e celulose.** Viçosa, 2007. 99 p. Tese de Doutorado (*Doctor Scientiae*). Universidade Federal de Viçosa.

PAIVA, S. N de. **Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil.** Piracicaba, 2007. 111 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura - Universidade de São Paulo.

PAULI, G. **The blue economy: 10 years. 100 inovations, 100 million Jobs.** Taos – New Mexico. Paradigm Publications. 2010. 303 p.

PÉRTILE, P. **Resíduo alcalino da indústria de celulose em solos ácidos e áreas degradada.** Lages – SC. 2011. 106p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Manejo do Solo). Centro de Ciências Agroveterinária – Universidade do Estado de Santa Catarina.

PINTO, S, DE, J, F. **Valorização de resíduos da indústria de papel e celulose na produção de agregados leves.** Aveiro, 2005. 131 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Gestão Ambiental). Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro Universidade de Aveiro, Portugal.

PIOTTO, C. **Eco-eficiencia na Indústria de Celulose e Papel.** Estudo de Caso. São Paulo, 2003. 379 p. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - Universidade de São Paulo.

PITON, G. L. **Caraterização do setor de papel e celulose no período recente.** Campinas, 2015. 37 p. Instituto de Economia – Universidade de Campinas. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000966262>. Acesso em 20 jun. 2017.

RAPOPORT, I. D. **Na contramão da crise, indústria de papel e celulose cresce e continua contratando,** 2016. Disponível em:

<http://www.fidelitiespesquisas.com.br/noticia/na-contramao-da-crise-industria-de-papel-e-celulose-cresce-e-continua-contratando/>. Acesso em 28 jun. 2017.

RIBEIRO, A. P. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. São Paulo, 2010. 142 p. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia). Universidade de São Paulo.

RODRIGUES, C. M. **Efeito da aplicação do resíduo da indústria de papel e celulose, nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do pinus taeda L.** Curitiba, 2004. 121 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Agronomia). Universidade Federal do Paraná.

RODRIGUES, L. R.; FRANCISO, M. A. C. O.; SAGRILLO, V. P. D.; LOUZADA, D. M. & ENTRINGER, J. M. S. **Caracterização de resíduos sólidos da indústria de celulose tipo kraft visando sua aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal – RN. 2016.

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *eucalyptus grandis* x *eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. Piracicaba, 2005. 178 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais). Universidade de São Paulo.

SILVA JR., W. S. **Estudo para a utilização de resíduo da fabricação de papel na construção rodoviária**. 210p. Dissertação de Mestrado (mestre em Ciências). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2010.

STEIN, F. da R. **Modelagem de produção industrial de celulose kraft com modelos aditivos generalizados e redes neurais**. Viçosa, 2010. 109 p. Dissertação de Mestrado (mestre em tecnologia da celulose e papel). Universidade Federal de Viçosa.

TORRES, C. M. M. E. **Incorporação de dregs e grits de fábricas de polpa celulósica kraft ao clínquer para a produção de cimento Portland**. Viçosa, 2016. 108 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

TORRES, C. M. M. E. Silva, C. M.; PEDROTI, L. G.; FERNANDES, W. E. H.; BALLOTIN, F. C. & ZANUNCIO, J. C. **Cement Portland production with dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to clinker**. International Work Shop – Advances in Clinker Production. São Paulo. 2017. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/5A/6/torres_cmme_et_al_academic.pdf>. Acesso em 10 jan. 2018.

WOLFF, E. **O uso do lodo de estação de tratamento de água e resíduos da indústria de celulose (dregs, grits e lama de cal) na produção de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte, 2008. 188 p. Tese de Doutorado (Doutor em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais.