

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

RAPHAELLA OLIVEIRA PASA

**IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE CIRCULARIDADE EM
UMA MÁQUINA DE PAPEL KRAFT**

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

RAPHAELLA OLIVEIRA PASA

**IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE CIRCULARIDADE EM
UMA MÁQUINA DE PAPEL KRAFT**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Neves Puglieri

PONTA GROSSA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

Identificação de oportunidades de circularidade em uma Máquina de Papel Kraft

por

Raphaella Oliveira Pasa

Monografia apresentada no dia 25 de novembro de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira De Abreu Pietrobelli
(UTFPR)

Prof. Ms. Matheus Lopes Demito
(UniCesumar)

Prof. Dr. Fábio Neves Puglieri
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Foram muitas pessoas que tiveram participação no desenvolvimento deste trabalho e de todo o conhecimento necessário que tive que aprender para que se entendesse realmente o conceito que fora aplicado neste projeto, porém deixo aqui o meu agradecimento especial para algumas delas.

Agradeço primeiramente a minha família, minha mãe Silvana, meu pai Vanderlei e minha irmã Gabriella, que não só me apoiaram no desenvolvimento deste trabalho, mas em toda a minha graduação. Estes foram os pioneiros a me incentivarem na minha trajetória do conhecimento e confiaram no meu potencial. Amo vocês.

Agradeço ao meu professor orientador, Fábio, que manteve a confiança no meu projeto durante toda a sua aplicação. Além de ter me mostrado um novo olhar da gestão ambiental, foi um grande companheiro em decisões importantes do trabalho de conclusão de curso, e se tornou um grande amigo.

Aos meus amigos da graduação, que tiveram grandes vivências ao meu lado. Obrigada pela amizade. Vocês foram extremamente importantes para que eu tivesse força nos momentos difíceis e me tornaram uma pessoa melhor, sendo companheiros desde o primeiro dia de graduação.

Agradeço também, de maneira geral, a todos os professores do curso de Engenharia Química da UTFPR, que me tornaram a profissional que sou hoje. Sem os ensinamentos que tive na graduação, jamais conquistaria um projeto significativo como este. Não esquecendo de agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que me deu a estrutura necessária para me tornar uma profissional diferenciada no mercado.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

PASA, R. O. **Identificação de oportunidades de circularidade em uma máquina de papel Kraft**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

A Economia Circular surge da necessidade de reduzir o consumo de recursos naturais, emissões e estender a vida de produtos e materiais. A indústria de papel é reconhecida por ser altamente demandante de recursos, como água, energia elétrica, matérias-primas, insumos e geradora de emissões. Nesse sentido, o presente trabalho consistiu em identificar oportunidades de circularidade, a partir da economia circular, em uma máquina de papel Kraft, numa indústria de papel e celulose no estado de Santa Catarina. Para isso, foi realizado um estudo de caso e uma pesquisa ação, que permitiram a redução do consumo de cola asa, otimização do uso de tubetes e oportunidades para a recirculação de água na máquina de papel Kraft. As oportunidades identificadas tiveram implementação na empresa, gerando economia monetária para tal, sendo que esses resultados demonstraram que por meio da Economia Circular, há melhorias ambientais potenciais nos processos e redução de custos por otimização do uso de materiais.

Palavras-chave: Economia Circular, Indústria de Papel, Papel Kraft

ABSTRACT

PASA, R. O. **Identifying Circularity Opportunities in a Kraft Paper Machine.** 2019. Work of Conclusion Course (Graduation in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Circular economy arises from the need to reduce the consumption of natural resources, emissions and extend the life of products and materials. The paper industry is recognized for being highly demanding of resources such as water, electricity, raw materials, inputs and emissions generator. In this sense, the present work consisted in identifying circularity opportunities, based on the circular economy, in a kraft paper machine, in a pulp and paper industry in the state of santa catarina. For this, a case study and an action research were carried out, which allowed the reduction of wing glue consumption, optimization of the use of tubes and opportunities for water recirculation in the kraft paper machine. The opportunities identified were implemented in the company, generating monetary savings for such, and these results showed that through Circular Economy, there are potential environmental improvements in the processes and cost reduction by optimizing the use of materials.

Keywords: Circular Economy, Paper Industry, Kraft Paper.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama da Borboleta	13
Figura 2 – Fábrica de Produção de Papel e Celulose	16
Figura 3 – Setores da máquina de papel	19
Figura 4 – Etapas da revisão bibliográfica sistemática	25
Figura 5 - Etapas de processamento da RBS	26
Figura 6 – Diagrama de blocos do processo produtivo de produção de papel Kraft	27
Figura 7 – Ilustração do equipamento pulper	30
Figura 8 – Palete de tubete para rebobinação de papel Kraft	31
Figura 9 – Rebobinadeira do rolo jumbo de papel Kraft	32
Figura 10 – Tubete para rebobinação de papel Kraft com umidade e deformação	32
Figura 11 – Bomba que necessita de água de selagem	34
Figura 12 – Boletim de controle de tubetes	35
Figura 13 – Boletim de controle de tubetes após a liberação do lote	36
Figura 14 – Planilha de controle de utilização de tubetes (versão para a operação)	37
Figura 15 – Planilha de controle de utilização de tubetes (versão para verificação de FIFO - supervisão)	37
Figura 16 – Equipamento de dosagem de cola ASA	38
Figura 17 – Lógica da instrumentação para dosagem de cola ASA	39
Figura 18 – Dados coletados do PI System – início do sinal de quebra na máquina	40
Figura 19 – Dados coletados pelo PI System – volta da operação normal da máquina	40
Figura 20 – Registro dos dados de vazão de água de selagem das gaxetas da máquina de papel Kraft	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Economia Circular	11
3.2 Indústria de Papel	15
3.3 Gestão ambiental na Indústria Papeleira	20
4 METODOLOGIA.....	24
5 RESULTADOS E DISUSSÕES	35
5.1 Implementação da otimização da utilização de tubetes	35
5.2 Implementação do estudo para diminuição da cola ASA em sinais de quebra da Máquina de Papel.....	38
5.3 Estudo de recirculação de água de selagem das gaxetas da Máquina	40
6 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O cenário econômico industrial é tradicionalmente linear, na qual é selecionada a matéria prima, fabricado o produto, transportado, utilizado, e quando não há mais aplicabilidade de tal, é por fim descartado como rejeito final (EMF, 2016). Somado a isso, há o aumento do consumo, da extração de recursos da natureza e maior descarte, muito em razão da diminuição vida útil de produtos (CORNETTA, 2016).

Seguindo apenas uma direção, sendo um modelo de economia de produção que teve origem na revolução industrial, a economia linear é impulsionada pelo consumismo desenfreado, gerado pela síndrome do "mais-melhor-rápido-seguro". As empresas lucram com a quantidade de produtos expedidos para o mercado consumidor, e, não se responsabilizam pela destinação dos possíveis rejeitos e do produto propriamente dito, no caso de bens mais duráveis. Tal responsabilidade de destinação dos rejeitos é passada para o consumidor do produto, e conseqüentemente, é tal que decidirá se os produtos velhos serão descartados, reutilizados ou reciclados (FERREIRA; DA SILVA; FERREIRA, 2016).

No entanto, foi em meados de 1970, que ao verificar tal situação de crescente impacto que o setor industrial geraria no planeta, foram surgindo diversas escolas de pensamento, que focaram em possíveis soluções para diminuir estes impactos ambientais gerados pelo setor industrial. Como um conceito atual, têm-se a Economia Circular (EC), como o próprio nome sugere, se diferencia da Economia Linear (EL), que possui a característica de produzir, utilizar e descartar (EMF, 2015). A EC é conceito onde o reprocessamento dos produtos agrega níveis econômicos, transformando o conceito de crescimento, economizando matérias primas que não são renováveis, economizando energia e reduzindo o consumo de recursos naturais. Os produtos que seriam descartados na EL por estarem ao final de sua vida útil, são transformados em recursos para outros produtos, retornando ao ciclo e gerando um ecossistema autossustentável, que minimiza a geração de resíduos, procurando uma melhor utilização de tal (FERREIRA; DA SILVA; FERREIRA, 2016).

A EC remete à renovação dos materiais e componentes com a economia, com o objetivo de diminuir o descarte e aumentar oportunidades de aprimoramento/reutilização do que seria descartado. Ou seja, como o conceito da EC está diretamente ligado a uma mudança sistêmica do atual modelo de EL, ela é construtora de resiliência a longo prazo, visto que oportunidades rentáveis e geração

de benefícios sociais e ambientais podem levar um certo tempo. Como uma alternativa ao modelo econômico tradicional, o conceito faz surgir diferentes modelos de negócios, e, formas de consumo que instigam melhorias de processo e de conservação ambiental (EMF, 2015).

A Indústria de Papel, que é um dos setores industriais mais competitivos no Brasil e no mundo, tem focado na melhora o padrão de qualidade dos papéis produzidos. No processo de produção de papel, temos como uma grande porcentagem de matéria prima, a madeira virgem, originária de plantações de pinus e eucalipto, advindas de reflorestamentos (CETESB, 2008).

Esse setor industrial possui uma grande preocupação com a questão ambiental, pois é altamente dependente de matéria-prima provinda de recursos naturais, energia e água, principalmente nos processos de descascamento das toras de madeira, lavagens de polpa, depuração e limpeza da pasta celulósica. Além disso, há grande potencial gerador impacto ambiental em suas saídas, por meio da geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes (MIRANDA, 2008).

Dessa forma, torna-se interessante encontrar oportunidades de melhorias ambientais na indústria papeleira, sendo a Economia Circular uma estratégia que pode oferecer diversos benefícios ambientais, além de econômicos. Desse modo, foi definida a seguinte pergunta de pesquisa: quais as oportunidades de melhoria ambiental, por meio da economia circular, em um equipamento de produção de papel Kraft?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A partir da pergunta de pesquisa, foi definido o seguinte objetivo geral da pesquisa: identificar oportunidades, a partir da economia circular, em uma máquina de papel Kraft, numa indústria de papel e celulose no estado de Santa Catarina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a permitir que o objetivo geral seja atendido, os seguintes objetivos específicos desse trabalho foram definidos como:

- Mapear o processo de produção de papel;
- Entender os aspectos ambientais de uma máquina de papel de Kraft;
- Identificar potencialidades de circularidade no processo produtivo de papel;
- Implementar as potencialidades de circularidade que são tangíveis na máquina de papel em estudo e analisar resultados obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ECONOMIA CIRCULAR

A Economia Circular (EC) basicamente se conceitua numa escola de pensamentos, na qual visa que o desenvolvimento econômico global do consumo não necessita que tenha apenas recursos delimitados, podendo ser um sistema de pensamento que pode ser implementado em indústrias ou como possíveis buscas de oportunidades de melhoria referente a gestão ambiental (EMF, 2015).

Tal conceito foi baseado em outras escolas de pensamento e abordagens já disseminadas, como a Ecologia Industrial, a Biomimética, a Economia Azul, o *Cradle-to-Cradle* (C2C) e a Economia de Desempenho e, embora a EC se consista nas escolas descritas anteriormente, duas se destacam: a Economia de Desempenho, que foi fundada por Walter Stahel, no Projeto Cradle to Cradle (C2C) e a Economia Azul (EMF, 2016).

Tudo começou ao final da década de 1970, com Walter Stahel, que descreveu os benefícios de redução de resíduos e da criação de emprego a partir de uma mudança para ciclo fechado, tendo como sinônimo o termo “berço ao berço”, sendo um sistema de “loop” com recirculação de materiais através da extensão de vida do produto e na Economia de Desempenho. Ele enfatizou a produção de produtos com maior durabilidade, focando na extensão de vida do produto e a concepção de venda de serviços ao invés da venda do próprio produto físico (STAHHEL, 2010). O segundo princípio da EC descreve isto, afirmando que os produtos devem ter uma grande extensão do ciclo de vida (EMF, 2016).

Já no Projeto C2C tem-se a distinção de nutrientes biológicos de nutrientes técnicos, baseando-se que os produtos podem ser fabricados de tal forma que a sua constituição possa circular indefinidamente usando sistemas renováveis nestes dois sistemas, sendo eles o de nutriente biológico e o de nutriente tecnológico, focando no desperdício de um processo como alimentação para o outro (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). O Projeto C2C principia a EC na ideia dos dois sistemas e suas diferenças (EMF, 2016).

E no conceito de Economia Azul, descrito por Gunter Pauli, há um foco nas necessidades básicas do ser humano, sempre dentro dos limites ecológicos, tendo 21

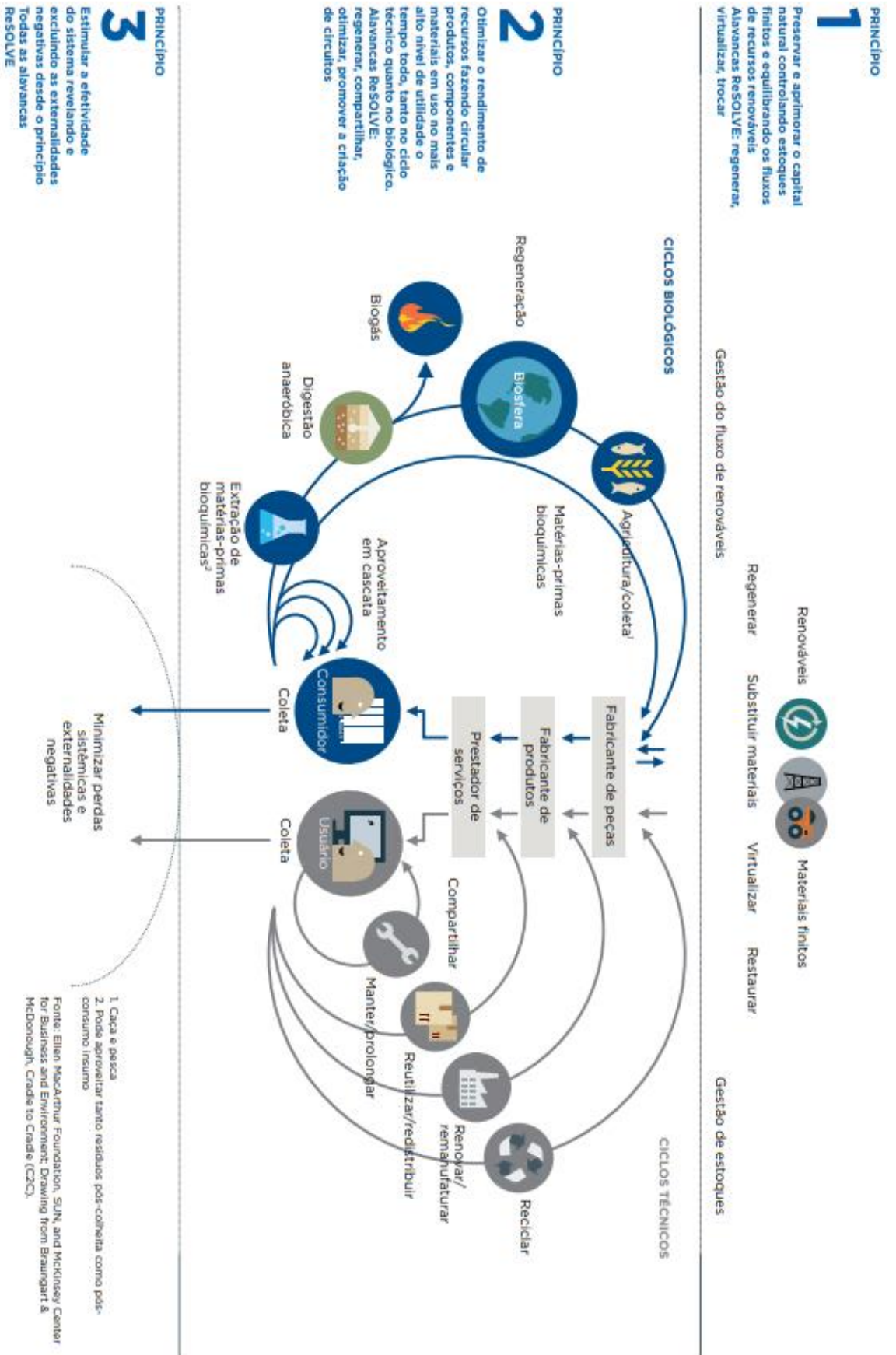
princípios chave em sua base (PAULI, 2010) e contribuindo para a EC com o conceito da seleção de recursos com cautela e proposição as empresas e pessoas que utilizem os recursos dentro dos limites ecológicos (EMF, 2016).

Com essas escolas de pensamento, foram surgindo ideias e conceitos inovadores referentes a economia regenerativa e restaurativa e o termo, e assim, a EC surgiu com o intuito de unir metodologias que antes eram feitas separadamente (EMF, 2016).

Pode-se então resumir que a EC é um sistema econômico que possui representação de uma mudança de paradigma, voltada na transformação de como a sociedade possui correlação com a natureza, visando prevenir o esgotamento de recursos, fechando o ciclo de energia e de materiais e facilitando o desenvolvimento sustentável. Tudo isto por meio de implementação em diversos níveis, sendo em níveis menores como empresas, consumidores, agentes econômicos integrados em simbiose e níveis maiores como cidade, regiões e governos. Para que se atinja este modelo circular, é necessário a implementação de inovações ambientais regenerativas, que incluem a forma como a sociedade legisla, produz e consome, sempre a fim de buscar oportunidades para beneficiar a sociedade como um todo, visando minimizar resíduos e poluição, criar um ciclo de uso de produtos e materiais e regenerar sistemas naturais (PRIETO-SANDOVAL *et al.*, 2018).

A EC possui três princípios que a Ellen MacArthur Foundation (EMF) (2014) apresenta como um modelo de negócio, sendo eles: a preservação e aumento do capital natural; otimização do rendimento de recursos pela circulação de produtos, componentes e materiais; e melhoria da efetividade do sistema por meio da exclusão de externalidades negativas. Desta maneira, a EC conceitua uma proposta de distinção entre ciclos biológicos e técnicos, e, também manter produtos em seu maior tempo de utilização e valor, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Diagrama da Borboleta



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2014)

O Diagrama da Borboleta demonstra o fechamento ciclo de processo produtivo, colocando em pauta outras opções diversas da gestão ambiental. As outras opções remetem uma busca metodologias já conhecidas, porém a EC manifesta que os ciclos detenham valor econômico concomitantemente com a preservação do meio ambiente, visando a sua restauração (EMF, 2013). Perante o Diagrama da Borboleta, verifica-se a distinção dos ciclos biológicos para os ciclos técnicos, sendo o lado direito o lado técnico e o lado esquerdo, o biológico.

O lado técnico possui uma alta ligação com bens materiais, duráveis, envolvendo gestão de estoque de materiais finitos, onde estes materiais podem ter uma recuperação e restauração por meio do compartilhamento, manutenção, reuso, remanufatura e reciclagem. Visa perspectivamente a parte econômica e industrial. Já o lado biológico representa os bens consumíveis, que são ao contrário dos bens duráveis. Neste lado o Diagrama da Borboleta, verifica-se os fluxos reversos e o aproveitamento em cascata, onde há a integração de ecossistemas naturais com conceitos econômicos, podendo retornar ao sistema por processos como compostagem e digestão anaeróbia (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2019).

O princípio 1 da EC visa a preservação e o aprimoramento do capital natural, podendo ser alcançadas pela venda de serviços ao invés de produtos físicos. Neste princípio tem-se como foco o controle e a utilização de recursos que são finitos, concomitantemente com o equilíbrio dos fluxos de recursos renováveis, preservando o capital natural através da priorização da extração e utilização de recursos renováveis, sendo o tempo de extração semelhante ao tempo de regeneração do recurso, trocando materiais químicos tóxicos por não-tóxicos, de maneira que sejam reinseridos na cadeia de valor ou decompostos no ciclo biológico (EMF, 2016).

O princípio 2 se refere a circulação de produtos, componentes e materiais, para otimizar o rendimento dos recursos, tanto no ciclo técnico quanto no biológico. Isso pode ser feito, do lado técnico, por meio da reciclagem de materiais e produtos, reuso, remanufatura e compartilhamento de bens. Ou seja, o foco está em estratégias dirigidas principalmente aos produtos. Já no ciclo biológico, as oportunidades se encontram no aproveitamento em cascata, regeneração, desenvolvimento de matérias-primas bioquímicas e digestão anaeróbia, por exemplo, ao produzir biogás (EMF, 2016).

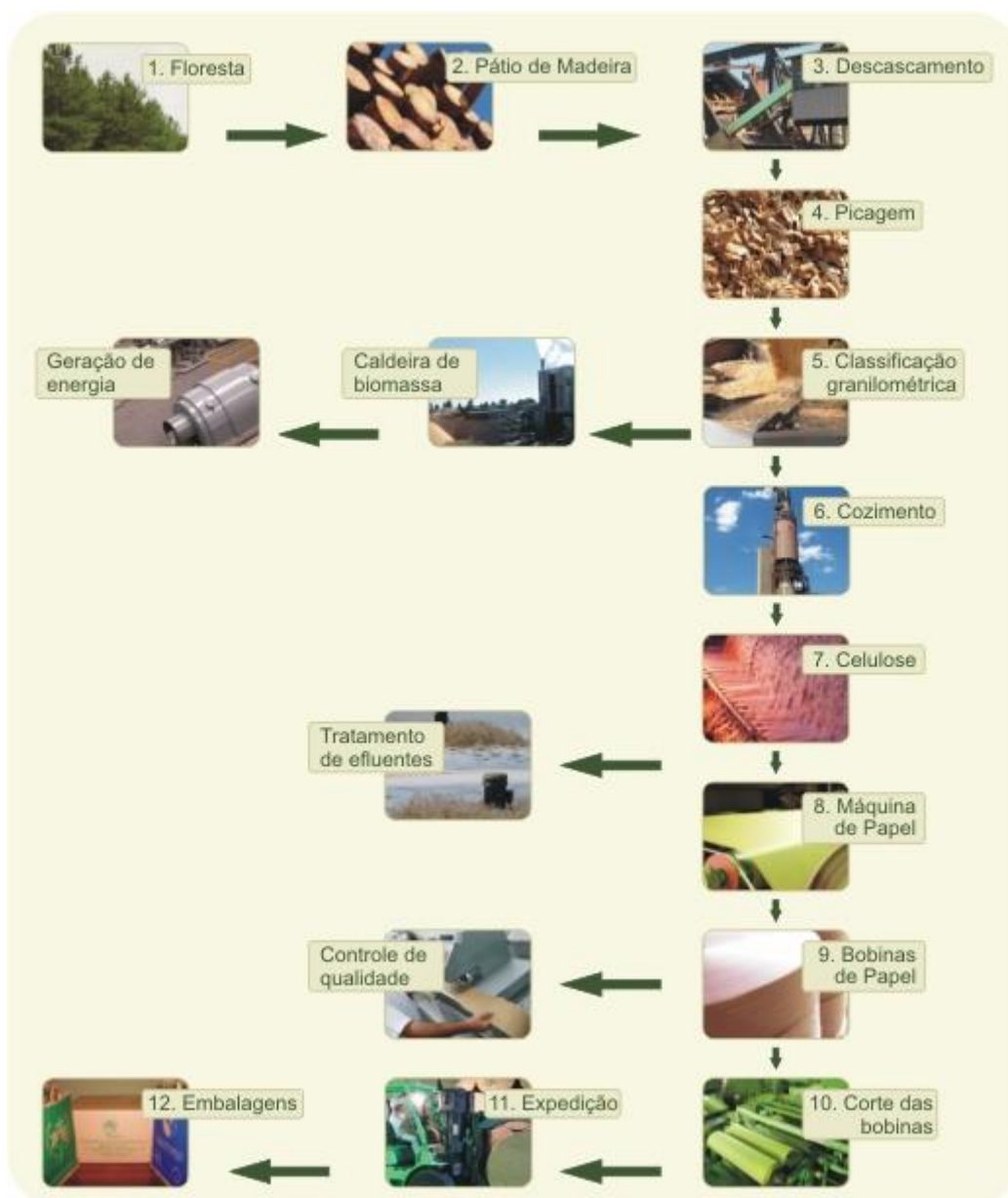
Por fim, o princípio 3 consiste na restrição para melhoria do sistema, por meio da exclusão de externalidade negativas em diversas áreas como alimentos, mobilidade saúde, entre outras áreas. Visa-se neste princípio a não geração de resíduos e poluição, verificando pontos chaves do processo, repensando-os para durar e permitir manutenção, reparo, reuso, remanufatura e reciclagem do produto e de seus componentes (EMF, 2016).

Para que ocorra uma mudança consistente em um sistema econômico circular, algumas ações devem ser cabíveis na situação, sendo elas propostas pela nomenclatura ReSOLVE que possui significados em cada letra de sua nomenclatura sendo “Re” de Regenerar (*Regenerate*), que inclui mudanças para opções renováveis, recuperação de ecossistemas e o retorno dos recursos biológicos para a biosfera, “S” de Compartilhar (*Share*), que visa o compartilhamento do uso de produtos e o aumento da vida útil dos produtos, “O” de Otimizar (*Optimize*), que visa a otimização do produto, “L” de Ciclar (*Loop*), que se refere a reinserção de produtos, componentes e materiais na cadeia produtiva, “V” de Virtualizar (*Virtualise*), que desmaterializa produtos e serviços, e “E” de Trocar (*Exchange*) que significa trocar materiais renováveis e antigos por novas tecnologias otimizadas na produção (EMF, 2016).

3.2 INDÚSTRIA DE PAPEL

As tecnologias para produção de papel têm se desenvolvido muito nos últimos anos e progressos significativos têm sido observados em todas as áreas, ou seja, das matérias-primas, passando pelos processos de produção e controle. Todavia, observa-se que os processos de fabricação de papel são semelhantes, independente da receita imposta no processo de produção da polpa para a máquina de papel (JOHAN GULLICHSEN; HANNU PAULAPURO, 2000). A Figura 2 apresenta uma síntese do processo de produção de papel e celulose.

Figura 2 – Fábrica de Produção de Papel e Celulose



Fonte: PROCESSO, 2007

A produção de celulose tem como matéria-prima mais comum a madeira, sendo que o papel é produzido a partir da celulose. A madeira provém de plantações de pinus e eucalipto, sendo que o Brasil possui condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento destas duas espécies, e que possuem uma boa resposta de produtividade no que tange às características edafoclimáticas brasileiras (VALVERDE, 2012).

A partir do cozimento do cavaco, provindo da madeira, têm-se a polpa de celulose, que é enviada para a máquina de papel. Esta polpa é preparada, com o auxílio de produtos químicos que são implementados juntamente com a polpa em tanques, refinada e depurada, para que tenha o início de formação da folha de papel. A preparação de massa é a primeira operação que se realiza na fabricação do papel, sendo que a massa deve estar em condições de ótimas para fazer papel. A refinação, que ocorre no refinador, é uma operação de preparação de massa na qual o trabalho mecânico em meio aquoso modifica a morfologia das fibras e sua estrutura físico-química. O refinador é baseado em um elemento estatático e outro que faz a rotação entre os quais a se passa a massa de celulose e eles fazem a desfibrilação desta. A operação de refinação demanda de um grande consumo de energia e a maior parte dessa energia é utilizada para dar movimento ao refinador (D'ALMEIDA, 1981).

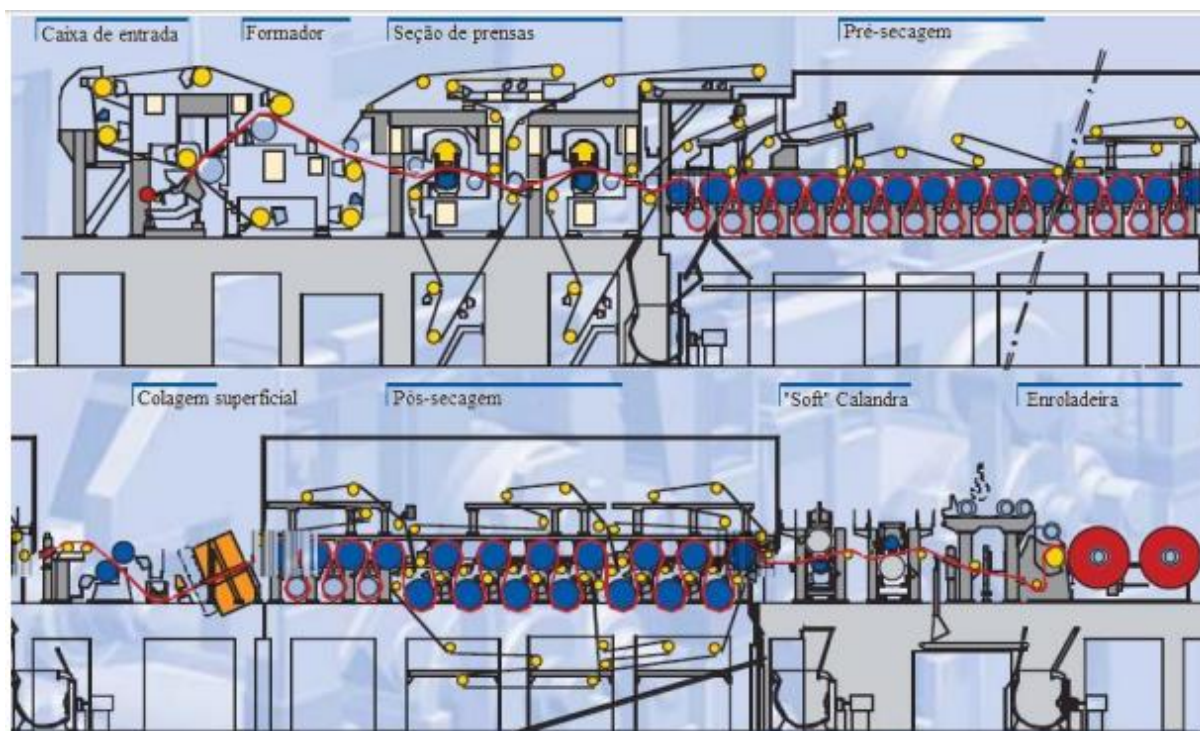
A fibra é formada por paredes. A parede primária é muito fina e contém poucos filamentos. Já a parede secundária externa é formada por microfibrilas dispostas em sentidos contrários, e, sua capacidade de inchamento é baixa e a parede secundária principal é formada por microfibrilas orientadas quase paralelamente a fibra. Ela é formada quase totalmente por celulose e sua capacidade de inchamento é elevada tendo alta rigidez e resistência. A parede secundária interna é muito fina e as microfibrilas são numerosas e são muito apertadas tendo a capacidade de inchamento muito grande. Durante a refinação, as paredes primárias e secundárias exteriores da fibra acabam se rompendo e eliminadas parcialmente. Desta forma, é possível que a penetração de água no interior da mesma provoque o inchamento e também permita a liberação de fibrilas internas que se separam e produzem uma formação de microfibrilas mais finas na superfície da fibra (SAMISTRARO, 2008).

Devido a todos esses efeitos, a fibra fica mais flexível aumentando a sua superfície e o volume específico. Cada tipo de papel tem uma característica e quando se escolhe essa característica se determina alguns processos na fabricação do papel, como por exemplo a adição de produtos químicos para modificar as características da fibra. Um tipo utilizado é o aditivo químico. Os aditivos são produtos que servem para modificar as características dos papéis, sendo por exemplo cargas ou pigmentos, que possuem caráter inorgânico de origem mineral e em sua composição química é o tamanho da partícula que diferencia a carga do pigmento, e, resinas para dar resistência no papel (NUNES, 2007).

Já os auxiliares químicos são os que modificam importantes propriedades do papel, sendo a missão principal de facilitar o trabalho e ajudar no processo de fabricação, por exemplo anti-espumante, onde sua função é eliminar ou impedir a formação de espuma durante a produção de papel dentro da máquina. Também há os biocidas, que são utilizados para evitar a formação de colônias de bactérias e outros microrganismos que podem ficar dentro da máquina de papel, e, os produtos químicos para retenção e drenagem, que servem para melhorar fixação de diferentes aditivos químicos os quais foram colocados anteriormente (NUNES, 2007).

É necessário que seja feito um controle de todos os elementos que são implementados para formação da folha de papel. Durante o processo de preparação de massa, o controle se faz diante de equipamentos chamados depuradores, que separam produtos considerados como ruins para fabricação do papel. Os objetivos principais da depuração são a obtenção de um papel limpo, sem manchas, e evitar problemas da fabricação do papel. Após a preparação da massa e depuração há a formação da folha, uma vez que se obtém das propriedades necessárias para produção da massa de papel e tal foi preparada convenientemente a partir da inclusão de aditivos e pigmentos (JOHAN GULLICHSEN; HANNU PAULAPURO, 2000). Na Figura 3 pode observar os setores da máquina de papel, sendo a caixa de entrada o início de tal após a preparação de massa, sendo a partir dela a iniciação da formação da folha de papel.

Figura 3 – Setores da máquina de papel



Fonte: ABTCP, 2011

Para o início de formação da folha, é feita uma implementação da massa, que foi preparada, em uma caixa de entrada, a qual vai fazer a distribuição fina na mesa de formação e adequada para que se faça uma formação de papel com fibras bem desenhadas. Na mesa plana ocorre a formação do papel, ou seja, toda a massa preparada é distribuída para uma mesa plana, que contém uma tela em sua envoltura que se chama tela formadora. Esta tela serve para que a massa faça seu processo de desaguamento inicial, por gravidade e por caixas de vácuo, que são implementadas no final da mesa plana. Esta parte da máquina possui objetivo de facilitação do desaguamento e o entrelaçamento das fibras que formam a folha de papel (JOHAN GULLICHSEN; HANNU PAULAPURO, 2000).

Após o desaguamento feito na mesa plana, ocorre o processo de prensagem, que serve para retirar a maior quantidade de água possível presente na folha de papel. Quando a folha termina de passar pela parte da prensagem, ela entra na parte dos cilindros secadores, que têm o intuito de finalizar a secagem da folha de papel mantendo a umidade ideal proposta. Com a folha já seca, ela passa pelo processo de calandragem, que interfere diretamente na porosidade e acabamento deste papel,

sendo posteriormente enrolada em um rolo jumbo e rebobinada a fim de poder ter a expedição das bobinas de papel menores do que um rolo jumbo (NUNES, 2007).

3.3 GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA PAPELEIRA

O Brasil, por suas características, tendo grandes dimensões territoriais, boas características de solo e clima, e, pela tecnologia silvicultural desenvolvida, conquistou uma posição de destaque no mercado internacional, reafirmando seu alto potencial de cultivo de florestas e para a produção de celulose e papel, tendo assim um grande impacto no desenvolvimento deste setor industrial (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

A matéria prima para a fabricação de papel é provinda da madeira destas florestas que são cultivadas no Brasil, e os produtos do processo produtivo de papel são, além do papel Kraft, os subprodutos, os resíduos aproveitáveis, os resíduos não aproveitáveis, as embalagens, para fins sanitários, e, as especialidades que atendem às necessidades básicas da sociedade, relacionadas com a saúde, educação, cultura, e embalagens de bens de consumo (MIRANDA, 2008).

Estes produtos gerados, são provenientes de uma indústria considerada hidrintensiva, pois a indústria papelreira tem uma alta geração de efluentes devido ao seu alto consumo de água no processo. A água implementada durante toda o processo produtivo não é incorporada ao produto principal, que é o papel, lembrando que o papel necessita de água para ser fabricado e de sua retirada para passar nos padrões de qualidade para a utilização (MIRANDA, 2008).

As emissões brutas deste tipo de processo, das fábricas deste setor que não possuem tratamento específico, possuem poluentes adversos, donde se incluem substâncias como o monóxido de carbono, sulfeto de carbonila, cloro/dióxido de cloro, clorofórmio, dioxinas e furanos, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado, fenóis, óxidos de enxofre, compostos de enxofre reduzido (ETR), resinas acídicas, álcoois terpenos, acetaldeído, nitratos, fungos (*Aspergillus fumigatus* e *Aspergillus versicolor*), bioaerosóis (endotoxinas), compostos aromáticos clorados e outros compostos orgânicos voláteis (inclusive ácido dicloroacético, metil éster, 2,5 Diclorotiofano, estireno, benzeno, tolueno e xileno), sabendo que não temos estudos que comprovem todos os impactos que tais causam na natureza até o momento (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

O consumo de água varia de uma fábrica para outra, porém o processo de produção de papel continua sendo hidrintensivo. Como possíveis soluções o problema da grande utilização de água, pode-se focar recuperação de recursos, onde principal objetivo desse modelo de negócio é recuperar valor e função dos produtos, componentes e materiais, incluindo as atividades do ciclo reverso como remanufatura e reciclagem em ciclos fechados e abertos. Na recuperação de recurso há o foco em reduzir a demanda de capital natural e o desperdício (CNI, 2018).

Os altos valores de água utilizada podem ser reduzidos à medida que aumentam a recirculação interna e a eficiência dos equipamentos de lavagem da celulose e dos processos de reciclagem de filtrados alcalinos, com efeitos diretos nas descargas de efluentes. Na produção, tanto de celulose como de papel, empregam práticas voltadas para o fechamento de circuito, através da reutilização de licores, condensados e águas de lavagem da celulose (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

Só tem sido possível a diminuição do consumo de água neste setor industrial por conta da substituição do uso de água fresca pela água de reuso, após um tratamento desta água para que não interfira o processo produtivo (ALEXANDERSSON, 2003).

Além da grande quantidade de água utilizada no processo, este pode ser considerado energeticamente intenso, justamente por ter suas necessidades específicas. O que gera um maior consumo são as caldeiras auxiliares, podendo ser de biomassa, óleo ou gás e as caldeiras de recuperação, que queimam o próprio licor negro de processo (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

Estas caldeiras emitem material particulado, que deve ser adequadamente controlado. Atualmente é utilizado o gás natural como uma alternativa que polui menos o meio ambiente e que possui custo razoável, com muitas adaptações de queimadores de óleo para gás e para o tipo biocombustível. Outros equipamentos como motores, compressores e bombas de vácuo, bombas hidráulicas, misturadores, depuradores, refinadores (despastilhadores) e outros, são consumidores de eletricidade (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

Para conferir as propriedades necessárias do papel, é implementado um vasto conjunto de aditivos e produtos auxiliares. Várias destas substâncias podem apresentar propriedades tóxicas e/ou irritantes, o que torna importantíssimo o conhecimento de seus efeitos potenciais sobre o meio ambiente, pois podem ter

derramamentos acidentais, contaminações ou intoxicações (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

Os resíduos são tratados de diferentes maneiras e podem ser descartados ou valorizados. No entanto, para que os resíduos sejam valorizados por outras indústrias, é necessário classificar essas substâncias como subproduto, sendo que o subproduto possui o significado de substâncias ou objetos resultantes de um processo de produção, onde o objetivo principal não é sua produção, sendo então um “resíduo da produção” (FERREIRA et al., 2019).

No processo para a produção de papel Kraft tem-se a produção de alguns resíduos como os Grits que são gerados no processo de apagamento da cal para produção de licor branco (soda caustica), os Dregs que são gerados na clarificação do licor verde (carbonato de sódio + sulfeto de sódio), a Lama de cal que é gerada nos filtros de lama de cal (carbonato de cálcio), as cascas oriundas do pátio de madeira, a serragem que é oriunda dos picadores, o rejeito que é oriundo da digestão da madeira, as cinzas que são oriundas dos precipitadores das caldeiras de biomassa e forno de cal, e o lodo da estação de tratamento de efluentes (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

Cada vez mais, tenta-se adotar uma gestão sustentável e equilibrada de resíduos, optando pelos princípios da minimização de resíduos, criando boas condições para sua coleta seletiva, a fim de proteger os recursos naturais e desenvolver a melhoria sucessiva no meio ambiente. O desempenho do setor de papel se deve a um intenso programa de investimentos, iniciado há mais de 20 anos como resultado da política de proteção ambiental desse setor industrial (FERREIRA et al., 2019).

Já as emissões atmosféricas potenciais possuem alta significância, levando em consideração a questão dos produtos de combustão quanto a das emissões fugitivas, que incluem materiais particulados, compostos de enxofre reduzido total (TRS), óxidos de nitrogênio e de enxofre, compostos orgânicos voláteis, cloro e dióxido de cloro, quando usados no branqueamento. As mais significativas e que podem ser controladas neste setor industrial são geradas no processo Kraft (MIELI, 2007).

Além disso, este setor deve ter um comprometimento altíssimo com a sustentabilidade, não só na geração de riquezas, mas com forte atuação na proteção e recuperação de recursos naturais, visto que sua matéria prima principal, que é geradora de celulose, é provinda das florestas cultivadas em nosso país, e, deve-se

visar na promoção do desenvolvimento e da qualidade de vida em comunidades espalhadas por todo o país (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SOUZA, 2008).

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como exploratória, pois envolve o levantamento de informações para caracterizar um problema, usando, para isso, uma abordagem qualitativa.

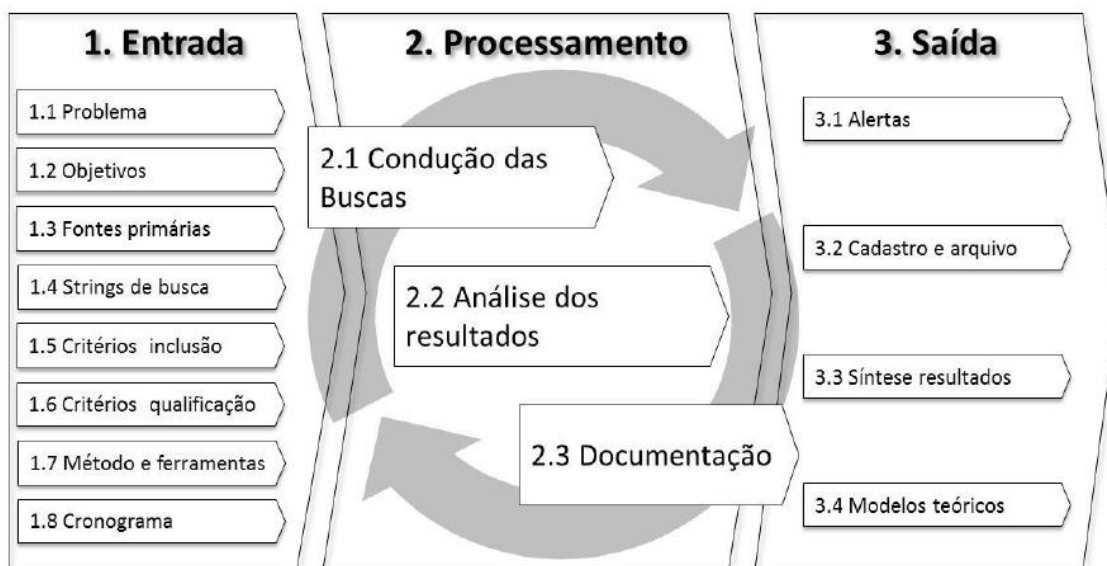
A pesquisa foi realizada a partir de três etapas, sendo elas:

- Etapa 1: revisão da literatura, com o objetivo de levantar a base teórica da temática, isto é, economia circular na indústria de papel e celulose;
- Etapa 2: estudo de caso, com o objetivo de caracterizar o processo produtivo de uma indústria de papel Kraft no estado de Santa Catarina, em especial, levantando oportunidades de melhoria de circularidade em uma máquina;
- Etapa 3: pesquisa-ação, ao propor e implementar soluções integradas e cooperativas com outros membros da empresa para melhoria da circularidade na máquina estudada.

As etapas 1 e 2 permitiram atender os objetivos específicos 1, 2 e 3, isto é, mapear o processo de produção de papel; entender os aspectos ambientais de uma máquina de papel de Kraft; e identificar potencialidades de circularidade no processo produtivo de papel. Finalmente a etapa 3 atendeu o cumprimento do objetivo específico 4 de implementação das potencialidades de circularidade na máquina de papel em estudo e análise dos resultados obtidos.

A revisão da literatura consistiu na leitura de artigos, livros, teses, dissertações, guias e outros materiais sobre EC e a produção de papel kraft. Paralelamente, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática da Literatura (RBS) que pudesse trazer artigos relacionando práticas de EC na indústria papeleira. Para isso, foi utilizado o procedimento metodológico apresentado por Conforto, Amaral e Silva (2011), conforme consta na Figura 4:

Figura 4 – Etapas da revisão bibliográfica sistemática



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011)

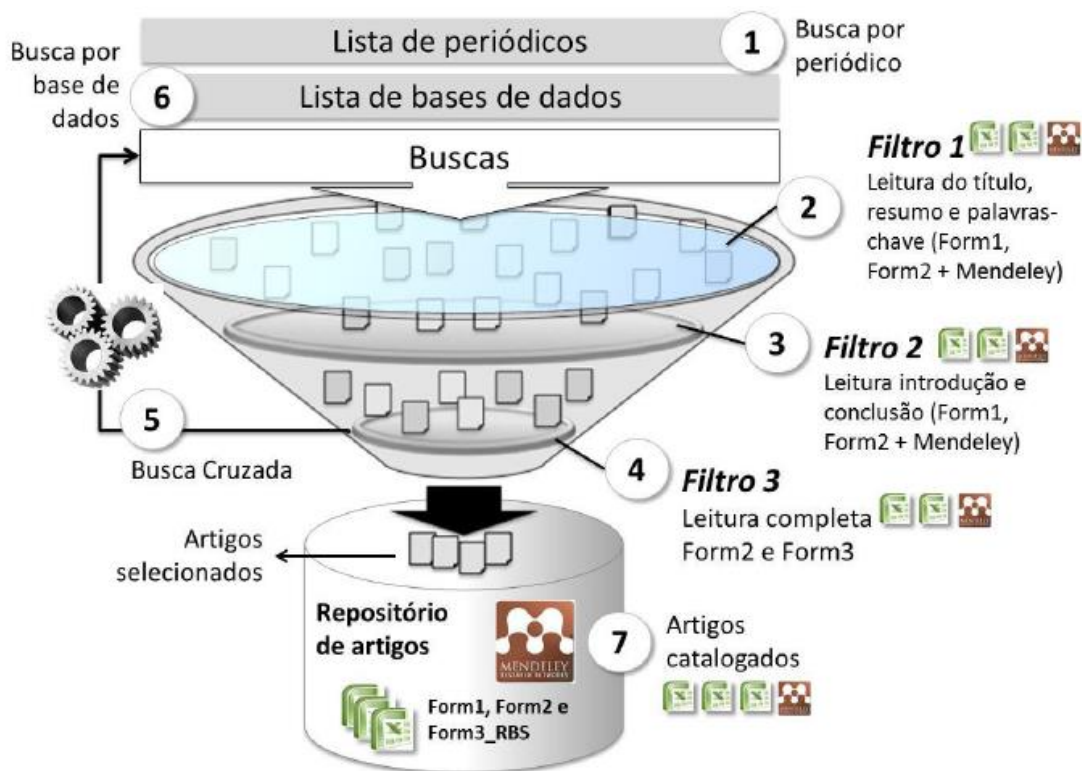
Como *input* para a RBS, foi definido como problema “Como a EC pode contribuir para melhoria ambiental do processo produtivo de papel?”, tendo assim, como objetivo da RBS, “encontrar artigos que tratem de aplicações, cases, abordagens e ferramentas de EC e de práticas ambientais na indústria papelreira”.

Como fontes de primárias de dados foram utilizadas as bases de dados da CAPES, do *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, utilizando *strings* de busca com as palavras “*paper machine*” AND “*circular economy*”, “*paper industry*” AND “*circular economy*”, e “*paper and pulp industry*” AND “*circular economy*”.

Como critérios de inclusão e exclusão, optou-se por separar artigos que somente tratassem de estudos relativos à economia circular na indústria de papel.

Os artigos encontrados foram filtrados a partir do método de Conforto, Amaral e Silva (2011), como pode ser visto na Figura 5:

Figura 5 - Etapas de processamento da RBS



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011)

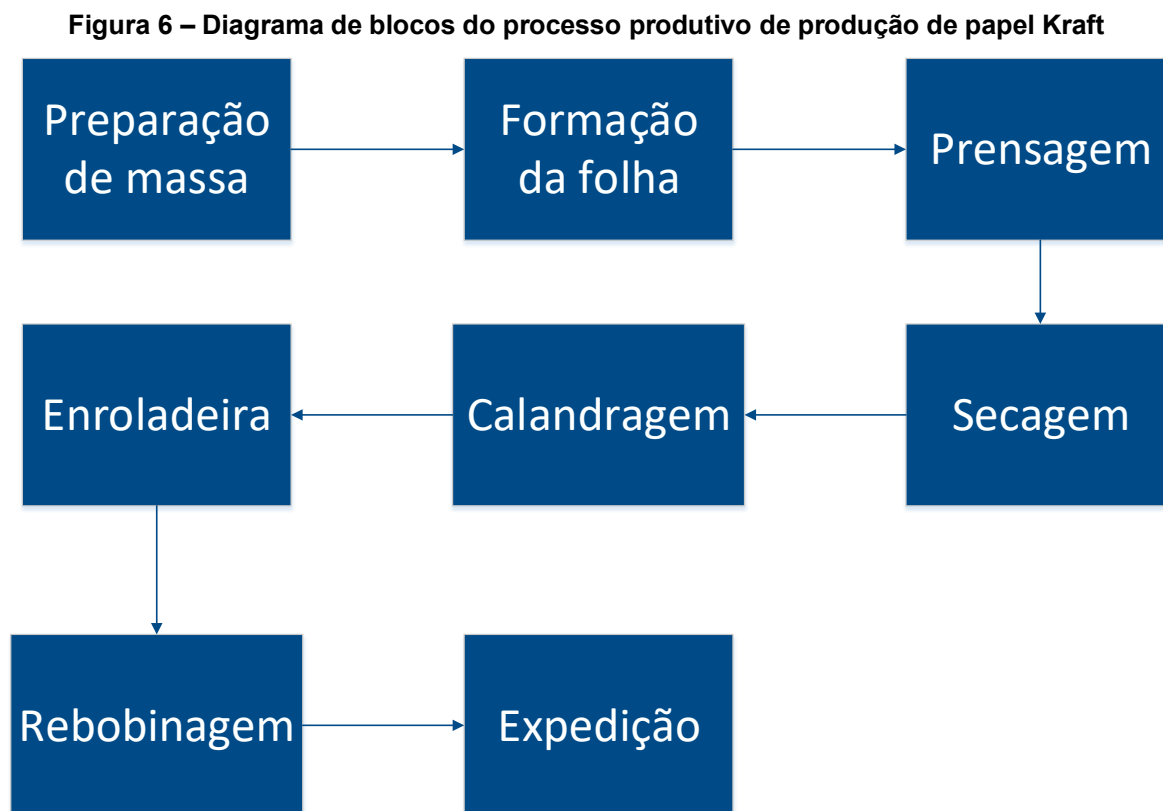
Cada artigo encontrado, conforme a Figura 5, passou por até 3 filtros, sendo que somente os que chegaram ao final da leitura, foram considerados aderentes ao objetivo da RBS, sendo utilizados na pesquisa.

Ao final da leitura e dos três filtros, apenas um artigo foi considerado o mais relacionado à pesquisa, chamado de "*Circular Economy in the Pulp Industry: Reuse of Dregs and Grits Waste*", sendo a EC aplicada na matéria prima do papel kraft, auxiliando na implementação do conceito de economia circular no processo produtivo de papel. Esse resultado denota que ainda há poucos estudos na indústria de papel Kraft relacionado à EC.

Após verificação de embasamento bibliográfico do tema, foi instituído o início da etapa 2. Esta etapa foi dividida em algumas fases, para que o estudo se tornasse mais aprofundado e detalhado. Essas fases foram: análise do fluxograma do processo, tendo o entendimento das peculiaridades da máquina em estudo, identificação dos aspectos ambientais que rodeiam a máquina de papel Kraft, e, posteriormente a verificação de oportunidades de circularidade no processo estudado.

O estudo de caso consistiu na criação e análise do fluxograma de processo de modo a permitir a análise de cada peculiaridade do processo. Na Figura 6 está

descrito, em forma de diagrama de blocos, o processo de produção de papel da máquina em estudo.



Fonte: Autoria própria, 2019.

O processo de produção de papel é contínuo, sendo ele interrompido por fatores programados ou não programados. Todas as vestimentas da máquina possuem tempo de vida útil, ou seja, necessitam ser trocadas a cada “x” tempo estipulado por cada tipo de vestimenta. Quando é necessário trocar alguma vestimenta, seja ela da formação da folha, prensagem ou secagem, é necessário fazer uma interrupção programada da máquina, a fim de que se evitem perdas posteriores devido ao desgaste das vestimentas.

Há ainda interrupções que podem ser programadas ou não programadas, referentes a problemas na máquina que exijam manutenção. Uma interrupção não programada na máquina tem como causa diversos motivos, sendo uma delas a “quebra da folha de papel”, ou seja, quando a folha de papel, que é produzida continuamente acaba rompendo em alguma área da máquina, podendo ter como motivos mais comuns: sujeira provinda da preparação da massa, equipamentos essenciais do processos que tenham sinal de falha e parem de funcionar durante a

produção, ou, qualquer fator que gere instabilidade no processo, como até mesmo interferência operacional em rotinas de verificação da máquina, sendo esta falha totalmente humana.

Após entendimento do fluxograma de processo produtivo de papel e verificação destas peculiaridades da máquina, foram levantados os aspectos ambientais envolvidos, o que auxiliaram na identificação das potencialidades de implementação da EC.

Na máquina há o consumo de diversos insumos químicos para realizar o processo. Para a máquina em estudo, há o uso de sulfato de sódio, ácido sulfúrico, insumos químicos para a colagem e interferência nos resultados de teste de Cobb (absorção de água), insumos químicos para tratamento microbiológico e antiespumante. Toda essa utilização de produtos químicos está diretamente ligada à extração de recursos naturais. Tais químicos também possuem rigorosa legislação de armazenamento e descarte, sendo fiscalizada pelo setor de meio ambiente da fábrica, a fim de não ter nenhuma contaminação de água ou do solo devido às características poluidoras desses insumos.

Outro aspecto ambiental envolvido é a grande quantidade de água consumida e conseqüentemente a grande geração de efluentes na máquina. Como há diluição muito grande da polpa celulósica no início do processo da máquina, há uma utilização de água muito grande, visto que além de ter incluso na preparação de massa, tem-se a utilização de água para limpeza do setor.

Importante destacar ainda que máquinas de papel possuem grande comprimento. Devido ao produto ser um produto “seco”, ou seja, com pouca umidade, toda a água que é implementada no processo tem que sair para algum lugar, e é desta maneira que se tem uma alta geração de efluente.

Após o entendimento das peculiaridades da máquina de papel Kraft em estudo e dos seus aspectos ambientais, foram identificadas algumas oportunidades de circularidade.

Para isso, a Norma BS 8001:2017, que traz um *framework* para a implementação de princípios de EC foi utilizada como ferramenta de apoio na identificação destas oportunidades de melhorias focadas no conceito de economia circular.

As oportunidades foram encontradas visando a gestão ambiental em conexão com a performance da máquina e com o enfoque nos três princípios da economia

circular: diminuição de matéria prima, diminuição de descarte e resíduos, e recirculação de produtos, e, com o entendimento do processo produtivo da máquina de papel Kraft, foram identificadas as seguintes melhorias:

- Diminuição de cola ASA em sinais de quebra da máquina;
- Otimização de utilização de tubetes;
- Estudo de recirculação de água de selagem das gaxetas da máquina.

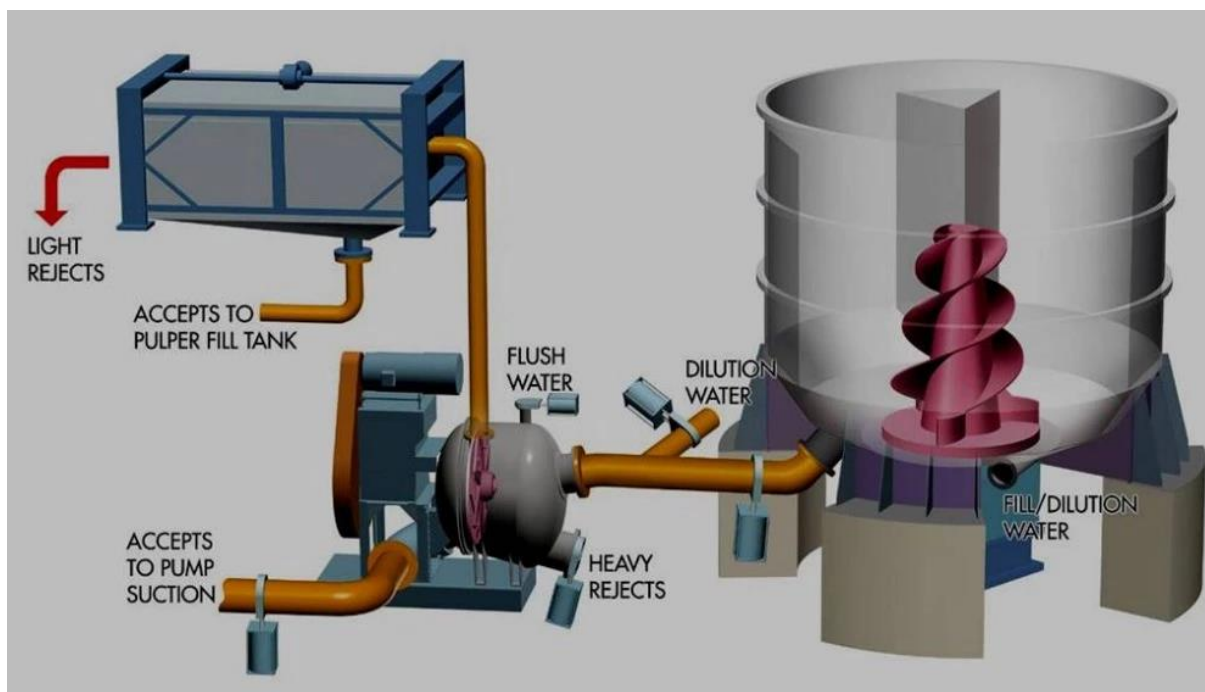
Para se entender melhor como podem ser implementadas cada uma das melhorias identificadas, é importante conhecer as peculiaridades da máquina. A máquina possui um sistema de coleta e armazenamento de dados chamado *PI System*. Neste sistema também pode-se visualizar dados do processo a partir de criação de lógicas de instrumentação e de nomenclatura, as quais são chamadas de “TAG’s”, e, de caminhos do sistema, os quais fazem a coleta de dados com alta fidelidade. Estes dados podem ser colocados em conexão com o sistema operacional da Microsoft®, em planilhas de Excel, facilitando assim a análise de dados importantes do processo até mesmo pela operação.

A produção de papel é um processo contínuo e que pode ter interferentes que causem a interrupção desta continuidade, sendo eles paradas programadas, paradas não programadas e quebras de folha de papel, citadas anteriormente. Toda vez que a máquina possui uma interrupção, há sinal de instrumentação que é enviado para o sistema *PI System* (PI), como um sinal de quebra. Este sinal só é finalizado no sistema operacional a partir do momento em que a máquina está estável e com a folha novamente extensa na enroladeira. Ou seja, não é apenas em quebras de folha de papel que o PI recebe a informação de que a máquina está em quebra, mas em todas as paradas de máquina.

Quando este sinal de quebra está verdadeiro e a massa da mesa plana ainda não foi extinguida (em interrupções muito grandes da máquina é tirado a massa das mesas planas, para que não se perca muito produto e os *pulpers* não ultrapassem os limites de nível máximo), toda a massa que entra na caixa de entrada da máquina, passa pelas mesas formadoras e pelas prensas, e, viram refugo. Isto é, não tem continuidade no processo pois a máquina não está em seu estado “normal” e cai direto em um dos *pulpers* que existem na máquina. O *pulper* mostrado na Figura 7 é um equipamento que possui uma hélice na parte inferior e faz a diluição da massa com água, ou seja, é como se fosse um liquidificador só que em tamanho industrial, com várias entradas e saídas. Todo o refugo é destinado ao *pulper*, o qual é diluído e entra

em tubulações e direção a filtros engrossadores, a fim de que se diminua a água desta massa e vá para um tanque, chamado torre de refugo.

Figura 7 – Ilustração do equipamento pulper



Fonte: smartway4study.com, 2018.

Todo o refugo, que fica na torre de refugo, é reutilizado na receita de produção de papel, variando em cada gramatura estipulada pela coordenação da máquina que estudou qual a melhor receita para cada gramatura e melhor qualidade do produto.

Foi detectando este sistema de reutilização de matéria-prima refugada e a partir da economia circular que foi encontrada a oportunidade de diminuição de cola ASA durante os sinais de quebra da máquina de papel Kraft.

A cola ASA possui uma tecnologia diferenciada, não necessitando de tempo de pós cura do produto, entrando no processo e já atuando com sua colagem a partir da temperatura e pH estipulados para seu funcionamento. Sendo assim, a colagem ASA poderia ter diminuição efetiva durante os sinais de quebra da máquina e geração de refugo nestes momentos, pois além de diminuir o desperdício de matéria-prima que estava indo para o refugo da máquina, sem alterar fatores de qualidade, isso não interfere nos testes de qualidade do papel.

Outra oportunidade encontrada está associada à otimização da utilização de tubetes. Após o papel Kraft passar pelas calandras (enroladeira), ele vai para a

rebobinadeira, que nada mais é que a rebobinagem do papel a fim de deixar menor o rolo Jumbo (rolo que é feito a partir da enroladeira). Na rebobinadeira, é colocado um tubete conforme Figura 8, que serve como base para a rebobinagem do papel que já fora enrolado no setor da enroladeira.

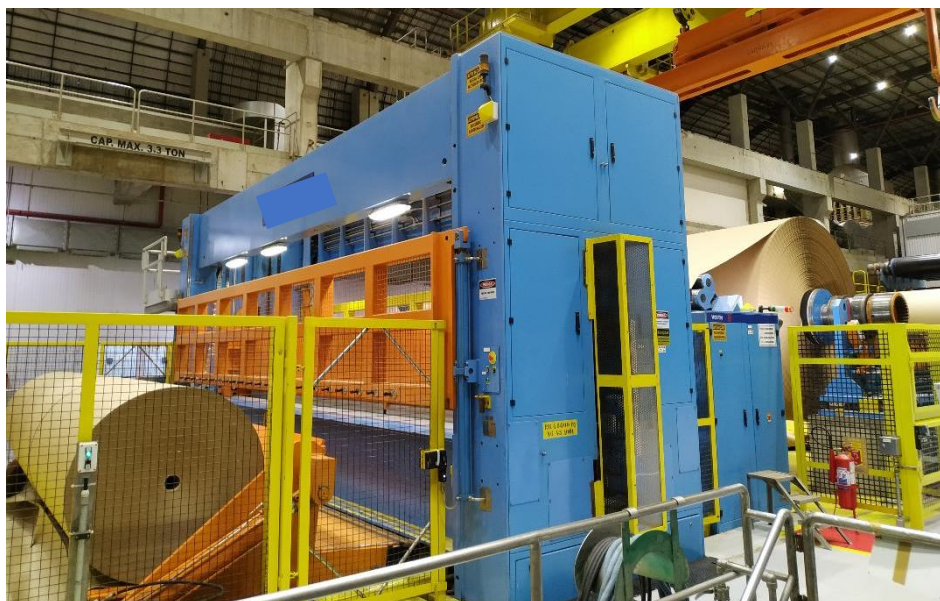
Figura 8 – Palete de tubete para rebobinação de papel Kraft



Fonte: Autoria própria, 2019

Ao iniciar a rebobinagem, cada retirada de papel (comprimento específico para cada bobina) necessita de uma nova remessa de tubetes, previamente cortados nos tamanhos solicitados de bobinas, para a rebobinadeira comece passando uma fina camada de cola para que a ponta do papel a ser rebobinado fique fixo no tubete e comece a ser produzido as bobinas. Essa rebobinadeira pode ser visualizada pela Figura 9.

Figura 9 – Rebobinadeira do rolo jumbo de papel Kraft



Fonte: Autoria própria, 2019

Ao verificar um grande desperdício de tubetes por conta de umidade encontrada neles, que os danificava, foi realizada uma investigação e descoberta a causa da umidade nos tubetes, sendo esta a falta de organização na utilização dos paletes de tubetes que ficavam armazenados no porão da máquina (Figura 10). Desta maneira, encontrou-se a oportunidade de melhoria nesta utilização, visando o conceito da EC de diminuição de descarte e poluição.

Figura 10 – Tubete para rebobinação de papel Kraft com umidade e deformação



Fonte: Autoria própria, 2019

Dando continuidade com o estudo e análise do processo de produção de papel, verificou-se ainda que mesmo sendo uma máquina totalmente otimizada com relação a reutilização de água (por ser uma tecnologia de ponta), havia um desperdício de água no processo, sendo essa uma água provinda do departamento de recuperação e utilidades como uma água filtrada e tratada da estação de tratamento de água (ETA), sendo utilizada na selagem de bombas.

Na máquina em estudo, existem 42 pontos de selagem de bomba, os quais não possuem medidor de vazão, ou seja, a água provinda da ETA da fábrica não possui vazão contabilizada no PI e em nenhum outro local de armazenamento de dados.

A bomba necessita de selagem com água em seus anéis, cuja função da água é promover vácuo. Para que isto aconteça e que se atinja o fluxo de ar necessário, o líquido utilizado para selagem deve atingir a pressão de vapor, e, sabendo que a temperatura é um parâmetro qualitativo da água, é essencial para estes casos. Também é necessário a selagem com água através das glândulas da bomba, mas em quantidades menores que no caso do vácuo, pois uma menor quantidade é utilizada para selar, lubrificar o envoltório da bomba e resfriar.

Visto que a água de selagem não possui alterações físico-químicas ao ser utilizada na selagem das bombas, foi encontrada outra oportunidade de circularidade no processo: um ponto de possível recirculação de água na máquina de papel Kraft, lembrando a produção de papel necessita de uma grande quantidade de água em seu processo. Na Figura 11 é possível visualizar uma bomba que possui vedação por gaxeta. Se houver uma falha na gaxeta, pode ocasionar na bomba o empenamento do eixo, a diminuição do rendimento mecânico, diminuição no rendimento volumétrico, aumento do consumo de energia e aumento na vibração interna da bomba. Este tipo de bomba necessita de água de selagem, para que a gaxeta seja lubrificada e resfriada ao longo de seu contato com o eixo.

Figura 11 – Bomba com vedação de gaxeta



Fonte: Aatoria própria, 2019.

Na sequência, as três oportunidades de circularidade encontradas no processo produtivo de papel Kraft foram analisadas, porém nem todas com aplicação tangível.

Por fim, na etapa 3, as oportunidades encontradas foram implementadas na empresa e os resultados analisados, como economias geradas, configurando a pesquisa-ação.

A aplicação das oportunidades foi feita gradualmente, em vista das peculiaridades do processo e da necessidade de entendimento por parte da operação do setor para que fossem feitas as devidas aplicações. As implementações estão apresentadas nos resultados e discussões deste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Implementação da otimização da utilização dos tubetes

Para o estudo de otimização da utilização dos tubetes foram feitos diversos estudos sobre o armazenamento, pensando em possibilidades de mudança dos paletes diariamente e semanalmente e trabalhando em ideias de gestão de estoque. No entanto, a metodologia que mais se integrou com a operação e viabilidade dos operadores foi o FIFO (*First In, First Out*), donde consiste que o produto que entrou primeiro em estoque seja o primeiro a sair, ou seja, permitindo que haja giro antes de se tornar obsoleto, sendo essencial que a demanda dos produtos para os fornecedores seja bem estabelecida a fim de que não afete o estoque e não gere armazenamento excessivo. Essa metodologia contribui com o giro de estoque a fim de que sempre o produto mais velho seja utilizado antes, criando uma lógica de utilização (PEREIRA et al., 2015).

Focando no FIFO, foi desenvolvido um boletim para a utilização dos tubetes e feito um treinamento na área operacional da máquina, visando a explicação do boletim criado e a implementação do FIFO nesta área da máquina. O boletim é ilustrado na Figura 12 e foi feito com dados essenciais para os operadores e para a supervisão, a fim de verificar se o novo procedimento de utilização estava sendo cumprido.

Figura 12 – Boletim de controle de tubetes

<h1>LIBERADO PARA USO</h1>									
<p>BOLETIM DE CONTROLE DE TUBETES</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px auto; width: 80%;"> <h2>NÃO LIBERADO</h2> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;"><u>Destacar na linha tracejada desta folha quando iniciar o uso do lote.</u></p>									
<p>RECEBIMENTO DO LOTE</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">Nº do lote</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Data</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Fornecedor</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Comprimento do tubete</td> <td></td> </tr> </table>		Nº do lote		Data		Fornecedor		Comprimento do tubete	
Nº do lote									
Data									
Fornecedor									
Comprimento do tubete									
<p>DATA DE INÍCIO DE UTILIZAÇÃO DO LOTE</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px auto; width: 60%;"> <p style="font-size: 2em; margin: 0;">/ /</p> </div>									
<p style="font-size: x-small;"><u>Esta folha deverá ser entregue ao mestre quando iniciar o consumo dos tubetes do lote e o mesmo deverá anotar no livro de ocorrências.</u></p>									

Fonte: Autoria própria, 2019

Toda vez que a máquina receber uma descarga de tubetes na área do porão, os operadores devem ter impresso vários boletins em mãos e colá-lo em cada palete de tubetes recebido. Ou seja, o palete entraria na fila do FIFO para a sua utilização.

A máquina de papel em estudo utiliza 3 tamanhos de comprimento de tubetes, isto é, de 2,225 cm, 2,550 cm e 2,850 cm, e desta maneira, a ideia do FIFO foi implementada individualmente para cada comprimento dos tubetes.

Toda vez que é necessário a utilização do lote, o operador deve rasgar o boletim na área tracejada de todos os paletes, conforme Figura 13, “liberando” a utilização do lote de tubetes. Essa parte rasgada deve ser enviada para a supervisão da máquina e colocada no livro de ocorrência que os líderes de área preenchem em cada turno, a fim de deixar arquivado a utilização dos lotes. Os recebimentos também foram todos arquivados neste livro de ocorrências.

Figura 13 – Boletim de controle de tubetes após a liberação do lote



Fonte: Autoria própria, 2019

Com o passar do tempo a ideia foi sendo absorvida pelos operadores e foi então criada uma planilha atualizada diariamente para auxílio da gestão do estoque, pois havia reclamações da dificuldade de organização do local de armazenamento e de achar qual era o lote mais antigo para utilização.

A planilha criada possui macro e é apresentada na Figura 14.

No Excel, e o operador tem acesso a ela, sendo uma planilha de fácil entendimento, onde o operador clica em cima do comprimento desejado e já aparece o lote que o mesmo deve utilizar daquele comprimento. Nesta planilha há algumas colunas ocultas, conforme Figura 15, para os operadores, sendo essas com informações de controle do FIFO, com a data do recebimento e data da utilização do lote, conseguindo assim verificar se o FIFO está sendo implementado corretamente.

Figura 14 – Planilha de controle de utilização de tubetes (versão para a operação)

2,225	2,550	2,850
-------	-------	-------

Lote	Marca	Status
-----	-	Não disponível
---	-	Não disponível
---	-	Não disponível

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 15 – Planilha de controle de utilização de tubetes (versão para verificação de FIFO - supervisão)

2,225	2,550	2,850
-------	-------	-------

Comp.	Data de recebimento	Data de utilização	Lote	Marca	Status
2,225	18/01/2019	-			Não disponível
2,225	07/02/2019	-		-	Não disponível
2,225	07/03/2019	-		-	Não disponível

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.2 Implementação do estudo para diminuição da cola ASA em sinais de quebra da máquina de papel

Como a cola ASA estava em fase de testes, ao ser identificada a oportunidade de circularidade, foi definido com a supervisão da máquina e com o fornecedor que o estudo teria início em uma baixa velocidade. Ou seja, a partir do início da implementação os ajustes de parâmetros de diminuição iriam ser feitos de “pouco em pouco” a fim de entender o funcionamento do equipamento da cola ASA. A Figura 16 ilustra o equipamento de dosagem da cola ASA.

Figura 16 – Equipamento de dosagem de cola ASA



Fonte: Autoria própria, 2019

Após decisão e alinhamento com a supervisão, foi necessário a criação de uma lógica de instrumentação para que toda vez que a máquina de papel Kraft entrasse em sinal de quebra, o equipamento diminuísse a porcentagem estipulada de cola ASA implementada no processo.

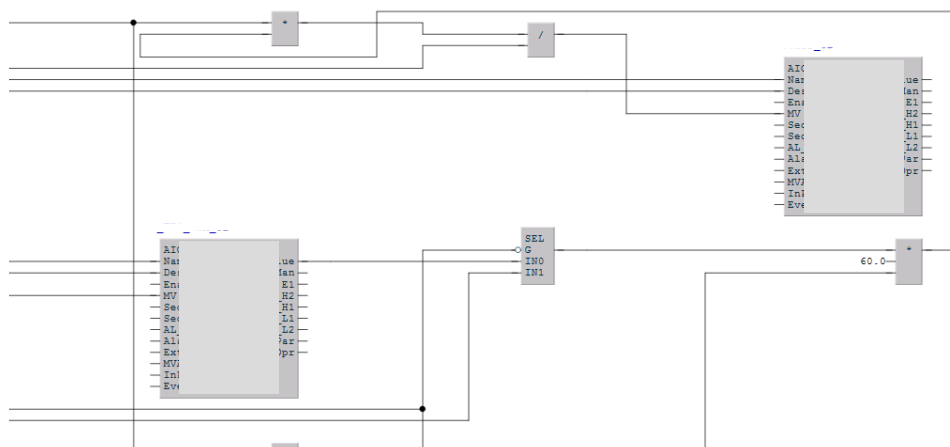
Como gargalo de estudo exposto pelo fornecedor, a diminuição da dosagem de cola ASA interferiria no aumento de temperatura das tubulações do equipamento. Desta maneira, durante o estudo foi verificado no equipamento se a temperatura aumentaria demais.

Foi iniciado o processo de diminuição da cola ASA com 20% em quebras. E acrescentado 10% mensalmente no fator de diminuição da dosagem a cada mês, sempre verificando a temperatura do equipamento.

Quando chegou em 50% de diminuição da dosagem de cola ASA no sinal de quebra da máquina, com massa na mesa formadora, o fornecedor expos que a partir desta porcentagem de diminuição o equipamento teria um aumento brusco da temperatura, diminuindo assim sua vida útil. Após diversas conversas com a supervisão, fornecedor e responsáveis técnicos da cola ASA, foi decidido que o equipamento da cola ASA teria desligamento em todo sinal de quebra, zerando assim a dosagem de cola ASA, e teria religamento a partir da volta do sinal de funcionamento normal da máquina.

Foi então feito uma modificação na lógica da instrumentação ilustrada na Figura 17, pelo pessoal responsável da fábrica.

Figura 17 – Lógica da instrumentação para dosagem de cola ASA



Fonte: Autoria própria, 2019

Foi verificado o funcionamento da lógica em 5 sinais de quebra da máquina, sendo efetivo o resultado, conforme mostram os dados registrados pelo PI nas Figuras 18 e 19, que mostram os valores de dosagem no início do sinal quebra na máquina e no final do sinal de quebra, respectivamente. O consumo específico é o indicador necessário de dosagem de cola ASA, sendo este o indicador monitorado durante toda a implementação da oportunidade de circularidade.

Figura 18 – Dados coletados do PI System – início do sinal de quebra na máquina

Data	Quebra	Consumo específico BASE	Consumo específico CAPA
24-set-19 20:03:00	False	0,00000000	0,00000000
24-set-19 20:03:30	True	0	0,00000007

Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 19 – Dados coletados pelo PI System – volta da operação normal da máquina

Data	Quebra	Consumo específico BASE	Consumo específico CAPA
24-set-19 20:26:00	True	0	0
24-set-19 20:26:30	True	0	0
24-set-19 20:27:00	True	0	0
24-set-19 20:27:30	True	0	0
24-set-19 20:28:00	True	0	0
24-set-19 20:28:30	True	0	0
24-set-19 20:29:00	True	0	0
24-set-19 20:29:30	True	0	0
24-set-19 20:30:00	True	0	0
24-set-19 20:30:30	False	0,04000433	0,00000000

Fonte: Autoria própria, 2019

5.3 Estudo de recirculação de água de selagem das gaxetas da máquina

Após verificação de desperdício de água, porém sem ter dados disponíveis de vazão, pressão, temperatura e outros parâmetros dos pontos de água de selagem das gaxetas, foi iniciado um plano de estudo para quantificar as oportunidades envolvidas.

Como as vazões de capa em dos 42 pontos são diferentes, foi medido manualmente cada ponto de vazão de água de selagem, utilizando um recipiente de medição, um Becker, e um cronômetro. Foi medida a quantidade de água em cada ponto durante 1 minuto e registrada em uma planilha do Excel, que é mostrada na Figura 20. Nesta mesma planilha verificou-se a quantidade final de água de selagem das gaxetas em uma hora, diariamente e mensalmente.

Figura 20 – Registro dos dados de vazão de água de selagem das gaxetas da máquina de papel

Kraft

TAG	Descrição	Vazão de água (l/min)	Vazão de água (m³/h)

Fonte: Autoria própria, 2019

A partir da compilação de dados na planilha exposta na Figura 20, foi permitido contabilizar o volume de água de selagem das gaxetas da máquina de papel Kraft que atualmente é descartada para a estação de tratamento de efluentes da fábrica, sendo uma quantidade considerável de aproximadamente 117 m³ de água descartados por dia. Retornando ao conceito de economia circular, verifica-se que este é um ponto importante a se considerar no processo, pois pode ser algo que foque no retorno do ciclo a fim de otimizar o rendimento dos recursos, sendo uma oportunidade de circularidade focada no princípio 2 da EC.

Além da redução do consumo de recursos, como os insumos para a fabricação de papel, redução de desperdícios e outras emissões, promovendo assim melhoria ambiental, as ações pensadas em EC também permitiram redução de custos no processo. Após implementação das oportunidades de circularidade na máquina de papel Kraft, foi possível resultados quantificáveis.

Com a diminuição da cola ASA em sinais de quebra, que se iniciou no dia 21 de julho de 2019, foi possível obter uma economia de aproximadamente 700 kg de produto colante e 400 kg de promoter para este produto colante, resultando em uma economia de R\$21000,00 até a produção deste trabalho escrito.

Como é um projeto que possui melhoria comprovada, será colocado como projeto de produtividade na empresa, dando continuidade na economia.

Desta maneira, foram feitas projeções para um ano fiscal, projetando a diminuição total da dosagem de cola ASA nas quebras, projetando uma economia de 3.090 kg de produto colante e 1.545 kg de promoter para produto colante, resultando em um projeto de uma economia anula de aproximadamente R\$60.000,00.

Já com a otimização da utilização de tubetes, foi possível obter como melhorias:

- Mais rapidez para os operadores;
- Mais organização no porão da máquina de papel Kraft;
- Maior controle do que estão utilizando, obedecendo fila lógica e sistemática dos lotes;
- Diminuição de descarte por umidade, visto que há uma otimização do tempo de estocagem.

Por fim, o estudo de recirculação de água de selagem das gaxetas identificou uma grande oportunidade para melhoria do processo na empresa, podendo ser implementado no futuro próximo, reaproveitando aproximadamente 117m³/dia.

A fábrica, que possui a máquina de papel Kraft em estudo, está em processo de início de expansão e por conta disso oportunidades que necessitam de alto investimento foram abortadas para a aplicação no ano de 2019, sendo uma delas a oportunidade encontrada de aplicação de projeto efetivo de recirculação de água de selagem das gaxetas da máquina de papel, pois necessitaria de alto investimento em tubulações, tanque, bombas e válvulas. Em vista disso, não foi realizado projeto estrutural e de equipamentos para este fim, se atendo somente ao estudo para comprovação de que existe desperdício de água na máquina de papel Kraft e oportunidades de melhoria desse processo.

Após finalização deste estudo, foi entregue o resultado para a supervisão da máquina de papel Kraft, a fim de demonstrar a efetividade da EC no processo produtivo de papel, explorar o local de estudo na área de gestão ambiental, propor novos procedimentos para aumentar a vida útil de recursos, minimizar perdas sistêmicas, estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio e conseqüentemente proporcionar opções diferentes para a melhoria contínua da fábrica.

6 CONCLUSÃO

A questão ambiental é um tema bastante recorrente dentro das empresas atualmente, sendo a EC uma abordagem recente que pode trazer diversos benefícios para os negócios.

Apesar da indústria de papel e celulose ser altamente consumidora de recursos e potencialmente geradora de diversos impactos ambientais, no que se refere à literatura, ainda há poucos exemplos de pesquisas realizadas envolvendo EC, demonstrando que ainda há a necessidade de amadurecer práticas circulares no setor.

No estudo aplicado na empresa, foi possível desenvolver e aplicar princípios de EC em uma fábrica de papel Kraft localizada no estado de Santa Catarina. Os resultados permitiram uma redução do consumo de recursos no processo produtivo, redução de desperdícios e emissões, impactando positivamente no desempenho ambiental da empresa. Ao mesmo tempo, outros benefícios foram gerados, como a redução de custos no negócio, demonstrando que EC também traz economias quando implementada.

A pesquisa também trouxe como consequência uma total resposta aplicativa de conhecimentos do curso de Engenharia Química, pois além de envolver conhecimento de processo, envolveu operações unitárias, tratamento de água, gestão de estoque, conceitos de qualidade, entre outros assuntos abordados no curso.

REFERÊNCIAS

BS 8001. **Framework for implementation the principles of the circular economy in organizations – guide**. BSI Standards Publication, 2017.

CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília, 2018.

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: 20 jan. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia Circular: Caminho estratégico para a Indústria Brasileira**. Brasília/DF, Brasil: [s.n]

CONFORTO, E.C.; AMARAL, D.C.; SILVA, S.L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto CBGDP**, 2011.

CORNETTA, W. **A obsolescência como artifício usado pelo fornecedor para induzir o consumidor a realizar compras repetitivas de produtos e a fragilidade do CDC para combater esta prática**. Orientador: Suzana Maria Pimenta Catta Preta Federighi. 2016. 186 f. Tese (Doutorado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/19874/2/William%20Cornetta.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação de pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT-SENAI, 1981. v. 1.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **A new dynamic: Effective business in a Circular Economy**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2013

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Delivering the Circular Economy: A toolkit for Policymakers**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2015

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Circular Economy in India: Rethinking growth for long-term prosperity**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2016

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2014

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: An economic and business rationale for an accelerated transition**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2012

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2015

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2013

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2013

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Schools of Thought**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/schools-of-thought>>. Acesso em 15 de outubro de 2018.

FERREIRA, I. A.; FRAGA, M. C.; GODINA, R.; BARREIROS, M. S.; CARVALHO, H. A. A Proposed Index of the Implementation and Maturity of Circular Economy Practices—The Case of the Pulp and Paper Industries of Portugal and Spain. **Sustainability** **2019**, **11**, **1722**, [s. l.], v. 11, p. 1-18, 2019. DOI 10.3390/su11061722. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 10 abr. 2019.

FERREIRA, P. G.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F. A Importância da Química para a Economia Circular. **Revista Virtual de Química**, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Química Orgânica, Outeiro de São João Batista, s/nº, CEP 24020-150, Niterói-RJ, Brasil., v. 9, n. 1, p. 452-473, 13 dez. 2016. DOI 10.21577/1984-6835.20170025. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v9n1a25.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2019.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). CETESB- Companhia de tecnologia de saneamento ambiental; SOUZA, A. H. C. B. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose**: Série P+L. 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2008. 50 p.

MIRANDA, R. E. S. **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**. Orientador: Carlos Domingos da Silva. 2008. 37 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Roselane.pdf. Acesso em: 10 abr. 2019.

JOHAN GULLICHSEN AND HANNY PAULAPURO, H. Paper and Paperboard Converting. Book 11, Helsinki University of Technology, Finland, 2000.

MIELI, J. C. A. **Sistema de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**. 2007. Disponível em: http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_sistemas_papel_15832.pdf. Acesso em: 10 abr. 2019.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle**, San Francisco, CA: North Point Press, 2002.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **The upcycle: Beyond sustainability – design for abundance**. New York, NY: North Point Press, 2013.

NUNES, D. C. L. **Conservação de água em máquina de fabricação de papel: O caso da Bahia Sul Papel e Celulose S.A.**. Orientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida. 2007. 168 p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1792/dissertacao_0032099.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 jul. 2019.

PAULI, G. **The Blue Economy - 10 years, 100 innovations and 100 million jobs, a report to the Club of Rome**. Berlin: Paradigm. 2010

PEREIRA, B. M.; CHAVES, G.; BELLUMAT, M. S.; BARBOZA, M. V.; DUTRA, R. V. Gestão de Estoque: Um estudo de caso em uma empresa de pequeno porte de Jaguaré. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Fortaleza, v. XXXV, 16 out. 2015. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_206_221_27945.pdf. Acesso em: 30 abr. 2019.

PRIETO-SANDOVAL, V., JACA, C., ORMAZABAL, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, 179, 605-615.

PROCESSO de produção. **Cocelpa**, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.techresult.comercial.ws/Cocelpa/html/producao.html>

RODRIGUES, M. J. **Economia circular traz oportunidades para avanço da agenda da sustentabilidade no Brasil**. Capítulo 6. 2018. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/mapa-estrategico-da-industria/reportagem-especial/capitulo-6-economia-circular-traz-oportunidades-para-avanco-da-agenda-da-sustentabilidade-no-brasil/>. Acesso em: 12 out. 2018.

SAMISTRARO, G. **Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. Orientador: Profª Drª Graciela Inez Bolzón de Muñiz. 2008. 115 p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/16955/Disserta%3F%3Fo%20Gisely%20Samistraro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2019.

STAHEL, W. R. **The product-life fator**. In S.G. Or (Ed.) An inquiry into the nature of sustainable societies, the role of the private sector. HARC Houston, TX: The Mitchell Prizes, 1984.

STAHEL, W. R. **The performance economy**. London: Palgrave Macmillan. 2010.

SEIFFERT, M. E. B. **ISO 14001 Sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: ISO 14000**. 5. Ed. São Paulo: Senac, 2004.

VALVERDE, S. R. et al. Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde. [Rio de Janeiro]: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, [2012]. 39 p. (Coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil).