

**Planta de celulose kraft que utiliza *Pinus Elliottii* como fonte de matéria-prima:
um estudo ambiental e econômico**

**Kraft cellulose plant using *Pinus Elliottii* as a source of raw material: an
environmental and economic study**

DOI:10.34117/bjdv6n11-288

Recebimento dos originais:08/10/2020

Aceitação para publicação:15/11/2020

Fabiano Coelho de Almeida

Engenheiro Químico, Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos
Endereço: Av. Itália, s/n - km 8, Carreiros, CEP 96203-900, Rio Grande (RS), Brasil
E-mail: fca.eng@gmail.com

Afonso Henrique da Silva Júnior

Engenheiro Agroindustrial-Agroquímico, Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal
de Santa Catarina, Campus
Endereço: Reitor João David Ferreira Lima, s/n, Córrego Grande, CEP 88040-970, Florianópolis
(SC), Brasil
E-mail: afonso.silva@posgrad.ufsc.br

Gerson Avelino Fernandes

Engenheiro Químico, Doutor, Professor Associado I, Programa de Pós-graduação em Engenharia de
Materiais, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá
Endereço: Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP 37500903, Itajubá (MG), Brasil
E-mail: gersonfernandes@unifei.edu.br

Toni Jefferson Lopes

Engenheiro de Alimentos, Doutor, Professor Associado I, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química, Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Campus
de Santo Antônio da Patrulha
Endereço: Rua Barão do Caí, 125, CEP 95500-000, Santo Antônio da Patrulha (RS), Brasil.
E-mail: tjlopes@furg.br

RESUMO

A indústria de papel e celulose é um segmento que vem crescendo a cada ano no cenário mundial. Nacionalmente, é responsável por grande parte do retorno financeiro ao país. Isso se deu ao grande investimento realizado nas últimas décadas, contribuindo para o desenvolvimento de processos produtivos pré-estabelecidos. Com isso, o Brasil vem crescendo exponencialmente no ramo, principalmente por possuir abundância de matéria-prima e espaços disponíveis para o cultivo da mesma. Em busca de eficiência e redução de custos e impactos no ambiente (efluentes) houve

mudanças nos processos, sobretudo na recuperação de reagentes utilizados na produção de celulose e na possibilidade de integração energética das linhas. Dentro deste propósito, neste artigo foi realizada uma análise econômica e ambiental de uma planta de celulose Kraft que utiliza *Pinus elliottii* como fonte alternativa de matéria-prima. Foram avaliados diferentes cenários: sem recuperação de reagentes e com recuperação de 30, 60 e 90% de reagentes químicos utilizados no cozimento da celulose. Nos estudos realizados verificou-se que para um cenário sem recuperação de reagentes que o preço do sulfeto de sódio e do hidróxido de sódio tem o maior custo na produção de celulose. À medida que se aumenta o percentual de recuperação, o custo dos reagentes diminui, e o custo da matéria-prima se torna maior. Sendo que para 10% de recuperação dos reagentes, o custo da madeira já ultrapassa o custo do sulfeto de sódio, e somente para 70% de recuperação é que o custo da madeira irá ultrapassar o custo do hidróxido de sódio. Portanto, concluiu-se que a regeneração dos reagentes químicos, do processo Kraft, para obtenção de celulose é benéfica tanto em relação a aspectos econômicos e impactos ambientais.

Palavras-chave: Impacto ambiental, Celulose, Recuperação de químicos, Avaliação econômica.

ABSTRACT

The pulp and paper industry are a segment that is growing every year on the world stage. And it is responsible for much of the financial return to the country. This is due to the great investment made in recent decades, contributing to the development of pre-established productive processes. As a result, Brazil has grown exponentially, mainly because it has an abundance of raw materials and spaces available for its cultivation. In search of cost reduction and cost reduction, there are changes in the processes, mainly in the recovery of reagents used in the production of pulp and in the possibility of energetic integration of the lines. With this purpose in mind, this article carried out an environmental and economic analysis of a Kraft pulp plant that uses *Pinus elliottii* as a raw material alternative. It was evaluating different scenarios of chemical recovery: without reagent recovery and with recovery of 30, 60 and 90% of chemical reagent used in pulp cooking process. In the studies carried out it was found that for a scenario without reagent recovery, the price of sodium sulfide and sodium hydroxide has the highest cost in the pulp production. As the percentage of recovery increases, the cost of the reagents decreases, and the cost of the raw material becomes higher. Since for 10% recovery of reagents, the cost of wood already exceeds the cost of sodium sulfide, and only for 70% of recovery will the cost of wood exceed the cost of sodium hydroxide. Therefore, it was concluded that the regeneration of chemical reagents, from the Kraft process, to obtain cellulose is beneficial both in relation to economic aspects and environmental impacts.

Keywords: Environmental impact, Pulp. Chemical recovery, Economic evaluation.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de papel e celulose vem se desenvolvendo de forma significativa nas últimas décadas. Isso está ligado principalmente à dois fatores: o aumento da demanda de papel e derivados e mudanças na legislação ambiental. O que impõe às indústrias um aumento na produção, de forma a suprir as necessidades do mercado. Já com relação ao segundo fator, faz com que as indústrias busquem novas tecnologias de polpação e branqueamento, além do uso de matéria-prima alternativa, a fim de

diminuir o impacto ambiental causado pelos processos atuais (SCHMIDT e CONDOTTA, 2020; ALVES et al., 2015; JUNIOR e KAKUDA, 2013).

Também, a indústria com o passar dos anos vem reagindo à pressão de se substituir fibras virgens por material reciclado. Por exemplo, a legislação de países desenvolvidos, principalmente da União Europeia (UE), tem obrigado o uso de reciclados na composição dos papeis. Isso, com o propósito de diminuir a quantidade de lixo produzido pelas grandes cidades. O que conseqüentemente, eleva-se o percentual de reciclagem no país. Nacionalmente, estima-se que 65% do papel seja reciclado (NEVES, FERREIRA e SOUZA, 2018; IBÁ, 2017).

Com base nisso, as empresas brasileiras de celulose têm respondido rapidamente às exigências dos consumidores e da legislação, adaptando os processos produtivos às novas normas. Em que também se tem verificado, a implantação de rígidos programas de redução de custos e modernização administrativa, objetivando estruturas mais leves e capazes de responder às demandas de uma competição globalizada (ALVES et al., 2015).

No Brasil, a indústria de papel e celulose apresentou um significativo desempenho no período 1980/2017, fundamentado basicamente no comércio internacional, uma vez que o consumo aparente do país é incapaz de absorver todo o crescimento verificado na produção, que se elevou de 3,36 milhões de toneladas de papel e 2,87 milhões toneladas de celulose, em 1980, para 10,3 milhões de toneladas de papel e 18,8 milhões de toneladas de celulose, em 2017 (IBÁ, 2017).

Portanto, o presente trabalho apresenta um projeto conceitual de uma planta de celulose Kraft que se utiliza *Pinus elliottii* como fonte alternativa de matéria-prima. E no transcorrer do estudo desenvolveram-se os seguintes tópicos: base de dados do processo, balanço mássico e energético envolvidos na produção de celulose e a avaliação econômica e ambiental de cenários pré-estabelecidos.

2 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a fonte de matéria-prima utilizada para a obtenção da celulose, bem como os motivos da escolha do seu processo. A partir desses dados, serão ainda desenvolvidos os balanços de massa e os cenários hipotéticos para o respectivo estudo ambiental e econômico.

2.1 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima escolhida para o processo foi o pinheiro da espécie *Pinus elliottii*, devido à grande ocorrência da madeira na região Sul do Brasil. Além, de ser uma espécie exótica, motivação que favorece a prevenção do desmatamento de florestas nativas. Outra característica importante do *Pinus elliottii* é que sua madeira é rica em resinas. A presença de resinas é um fator decisivo para a

definição e escolha do processo a ser utilizado na deslignificação das fibras presentes na composição da madeira bruta.

2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CELULOSE

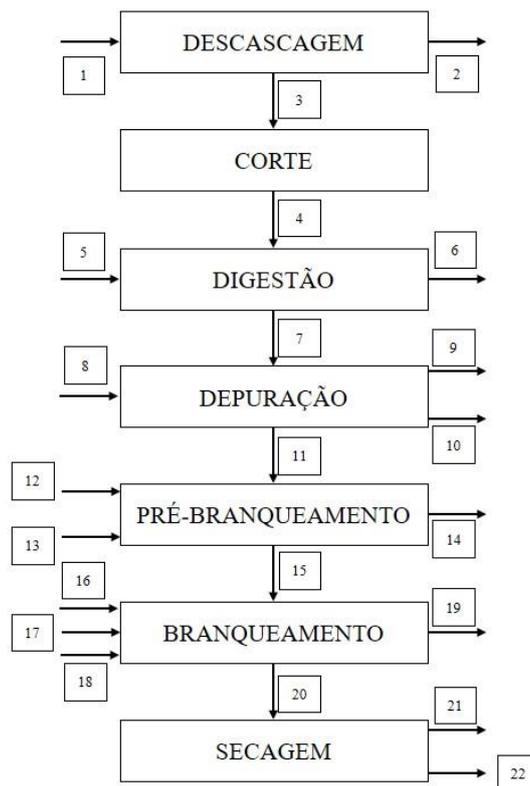
A escolha do processo químico foi realizada entre o Kraft e o sulfito por serem os mais utilizados e também, devido os outros serem apenas variações dos mesmos. O processo Kraft possui várias desvantagens associadas ao sulfito, como o alto custo de implantação, baixa alvura após cozimento, baixo rendimento e odor de gases resultantes do processo. Já o sulfito possui algumas vantagens relacionadas às desvantagens do Kraft, que é um rendimento mais alto e uma maior alvura da pasta celulósica após cozimento (PALME, et. al., 2016).

Mas esses fatores não são os decisivos, sendo assim, o que é realmente importante é que o processo sulfito, não serve para todo tipo de espécie vegetal, a deslignificação de fibras provenientes de madeiras resinosas se torna inviável para este processo, e sendo o *Pinus elliotti* rico em resinas, o processo sulfito é descartado por ser incompatível com a matéria-prima já definida. O processo Kraft, apesar das desvantagens citadas anteriormente, tem um fator que se torna importante, que é possuir um sistema de recuperação de produtos químicos, o que torna o processo menos agressivo ao meio ambiente. No Brasil, 98% da celulose produzida é celulose Kraft (ALVES et al., 2015; IBÁ, 2017). Na Figura 1 é mostrado um fluxograma geral do processo adotado neste estudo, com suas respectivas etapas.

O processo utiliza-se a madeira de *Pinus elliotti* na forma de toras cilíndricas, estando à temperatura ambiente. Em que a mesma entra no processo através da corrente 1, e é conduzida até a etapa de descascagem. Aproximadamente 10% da massa da madeira é descascada e sai na corrente 2 na forma de cascas.

Após a etapa de descascagem da madeira, através da corrente 3, entra na etapa de corte, em que são cortadas com dimensões que variam de 2,5-3,5 cm de comprimento, 1,5-2,0 cm de largura e 0,5 cm de espessura. Se a madeira for cortada em dimensões inferiores ao padrão, na próxima etapa, ocorrerá degradação da celulose presente na madeira por ocasião de um ataque severo do álcali às fibras na etapa de digestão. Já se a madeira for cortada em dimensões superiores ao padrão, não conseguirá fazer com que o álcali penetre no interior dos cavacos sem que ocorra um aumento do consumo de álcali empregado na digestão. Consequentemente, haverá um maior uso de energia na etapa de digestão da madeira (CHIRAT; LACHENAL; SANGLARD, 2012).

Figura 1: Diagrama de bloco representativo do processo de produção de celulose.



Através da corrente 4, a madeira cortada com um teor de umidade aproximadamente de 5% e composta de 50% de celulose, 10% de hemicelulose, 20% de lignina, 5% de extrativos e 5% de não extrativos chega à etapa de digestão. A digestão consiste basicamente em fazer com que a madeira cortada entre em contato com uma solução alcalina formada por uma mistura de aproximadamente 30% de Na_2S e 70% de NaOH , estes estando solubilizados em água suficiente para diluir a mistura. Esta mistura alcalina, previamente aquecida, entra na etapa de digestão através da corrente 5 com uma temperatura estimada de 80 °C. A digestão ocorre em um digestor operando como um vaso de pressão numa faixa estimada de 2 a 4 atm e com um intervalo de temperatura estimada entre 140 e 170 °C.

Com a ação do álcali, e nas condições de pressão e temperatura citadas, ocorrem reações de deslignificação (MARTÍN-SAMPEDRO, 2019), que liberam as fibras de celulose presentes na madeira. Estas reações em média adicionam ao digestor 4 °C. A etapa de digestão gera um líquido chamado “licor negro”, mistura de compostos químicos inorgânicos com resíduos de madeira dissolvida. O “licor negro” é liberado na corrente 6 estando a mesma temperatura que ocorreu a digestão. Este licor é composto de aproximadamente 95% da lignina que estava presente na madeira, 50% da água envolvida na digestão (originada da água de diluição do álcali e pela umidade presente na própria madeira), 70% da massa de álcali presente na mistura alcalina, 95% dos extrativos presentes

na madeira, 60% da hemicelulose da madeira e por 40% da celulose que formava a madeira não deslignificada. Como produto da digestão é formada uma polpa que será enviada para a depuração através da corrente 7 com uma temperatura estimada igual à temperatura da digestão. A polpa é constituída por aproximadamente 60% de fibras de celulose da madeira (deslignificadas) e 40% da hemicelulose da madeira. A polpa também é formada por não extrativos, pelo restante do álcali que não foi perdido na corrente de licor negro, umidade e aproximadamente 5% da lignina presente na madeira.

A polpa, chegando na depuração através da corrente 7, é lavada usando-se uma proporção de 20 litros de água por kg de polpa a ser lavada. A água entra na depuração através da corrente 8 estando a uma temperatura estimada de 90 °C. A depuração ocorre a uma temperatura estimada de 110 °C. Na corrente 9 é liberado o licor de lavagem, estando à mesma temperatura de depuração e constituído por aproximadamente 95% da água presente na depuração, 95% do álcali que estava presente na polpa, 80% da lignina residual presente na polpa, aproximadamente 5% da celulose e 5% da hemicelulose presentes na polpa.

Na corrente 10, estando na mesma temperatura que ocorreu a depuração, são removidas as substâncias não cozidas presentes na polpa. Na corrente 11, com a mesma temperatura que ocorreu a depuração, é liberada a polpa depurada, que é enviada para a etapa de pré-branqueamento. Esta polpa contém 95% da celulose que estava na polpa pré-depurada, umidade, lignina residual, hemicelulose e álcali residual.

No pré-branqueamento, através da corrente 12, com uma temperatura estimada de 80 °C são adicionados 25 kg de solução de hidróxido de sódio (NaOH) por tonelada de polpa a ser pré-branqueada. Esta adição de NaOH é para ajudar na deslignificação da lignina residual. Na corrente 13, estando à temperatura ambiente, são adicionados 25 kg de O₂ por tonelada de polpa. O oxigênio age no branqueamento oxidando a matéria orgânica que confere cor e se incorpora à massa da polpa. O pré-branqueamento ocorre a uma temperatura estimada de 80 °C. Na corrente 14, estando na mesma temperatura que ocorreu o pré-branqueamento, o efluente é liberado. Em eu o efluente é constituído da água presente na etapa, 80% da lignina que estava presente na polpa, 95% do álcali presente na etapa e aproximadamente 1% de celulose e hemicelulose e o restante do O₂ que não se incorporou à polpa. Na corrente 15, com a mesma temperatura que ocorreu o pré-branqueamento, a polpa pré-branqueada é liberada para o branqueamento final contendo 99% da celulose presente na polpa pré-branqueada, hemicelulose, lignina residual, álcali residual e O₂ que se incorporou à polpa e 40% da água presente no pré-branqueamento.

No branqueamento através da corrente 16 e estando a estimados 80 °C, é adicionada uma solução de NaOH com quantidade de água suficiente para diluir o mesmo. Esta mistura alcalina é usada numa proporção de 25 kg de solução de soda por tonelada de polpa a ser branqueada. Na corrente 17, estando à temperatura ambiente, é adicionado dióxido de cloro (ClO₂) numa proporção de aproximadamente 1% de ClO₂ por tonelada de polpa a ser branqueada. Na corrente 18, estando à temperatura ambiente, o O₂ é adicionado ao branqueamento, numa proporção de 25 kg de O₂ por tonelada de polpa a ser branqueada. Na corrente 19 estando na mesma temperatura que ocorreu o branqueamento é liberado o efluente. Em que o efluente contém 60% da água presente no branqueamento, 90% do álcali, O₂ que não se incorporou à polpa, ClO₂ que não se incorporou à polpa, lignina residual, e aproximadamente 1% de hemicelulose e celulose.

Na corrente 20, estando à mesma temperatura que ocorreu o branqueamento é liberada a polpa branqueada para secar. O processo de branqueamento ocorre com temperatura igual à 80 °C. Na etapa de secagem, a polpa é aquecida para que ocorra a evaporação da água. Em que na corrente 21 é liberada a água resultante da secagem e na corrente 22 é fornecida a polpa de celulose comercial.

2.3 BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO

Para a realização do balanço de massa, desconsideraram-se as reações secundárias que ocorrem em todas as etapas do processo. O estudo cinético destas reações se torna inviável nesta etapa do projeto, devido não influenciar significativamente no balanço material. O processo foi avaliado seguindo a reação abaixo (Equação 1).



E como variável de projeto, considerou-se o rendimento global relativo à razão quantidade de madeira por polpa comercial. Na Tabela 1 são mostradas as variáveis de processo consideradas para o balanço de massa e na Tabela 2 as variáveis do processo para o balanço energético.

Tabela 1: Variáveis do processo de produção de celulose para o balanço mássico.

Teor médio de casca na madeira bruta	10%
Teor médio de celulose na madeira bruta descascada	50%
Teor médio de hemicelulose na madeira descascada	10%
Teor médio de lignina na madeira descascada	20%
Teor médio de não extrativos na madeira descascada	5%
Teor médio de umidade na madeira descascada	10%
Rendimento médio na digestão	60%
Carga média de álcali seco	15 a 20%
Sulfidez	30%
Massa de sulfeto de sódio no álcali seco	30%
Massa de hidróxido de sódio no álcali seco	70%
Solubilidade de NaOH (80°C)	1,09
Solubilidade de Na ₂ S (80 °C)	0,188
Remoção média de lignina na digestão	95%
Remoção média de extrativos na digestão	99%
Perda média de massa de álcali na digestão	70%
Remoção média de massa de H ₂ O na digestão	50%
Rendimento médio na depuração	90%
Massa média de H ₂ O utilizada na depuração	20 t
Remoção média dos não extrativos na depuração	100%
Remoção média de lignina na depuração	95%
Remoção média de H ₂ O no efluente de depuração	70%
Eficiência na secagem da polpa de celulose	80-100%
Adição de O ₂ no pré-branqueamento (kg/t)	25
Adição de NaOH no pré-branqueamento (kg/t)	25
Adição de ClO ₂ no branqueamento	0,5 a 1,5%
Adição de O ₂ no branqueamento (kg/t)	25
Adição de NaOH no branqueamento (kg/t)	25

Fonte: QUEIROZ et al., 2004.

Tabela 2: Variáveis do processo de produção de celulose para o balanço de energia.

Intervalo médio da temperatura de digestão	159 a 180 °C
Intervalo médio da pressão de digestão	2 a 4 atm
Intervalo médio do tempo de residência na digestão	2 a 4 h
Intervalo médio da temperatura de depuração	110 a 130 °C
Intervalo médio da temperatura de pré-branqueamento	80 a 90 °C
Intervalo médio da temperatura de branqueamento	80 a 90 °C
Intervalo médio da temperatura de secagem	100 a 110 °C
As reações de deslignificação adicionam à digestão	4 °C

Fonte: QUEIROZ et al., 2004.

2.4 CENÁRIOS DE ESTUDO AMBIENTAL E ECONÔMICO

Utilizando-se como base de cálculo os custos para a obtenção da celulose a partir da do *Pinus elliottii* pelo processo Kraft, serão avaliados quatro cenários hipotéticos no processamento de celulose: sem recuperação dos produtos químico e com recuperação de reagentes químicos. Sendo que para os cenários com recuperação de reagentes serão estudados os percentuais de 30%, 60% e 90%.

Ainda será calculado o potencial econômico para diferentes percentuais de recuperação de produtos químicos. Também, em relação a redução da carga de compostos químicos descartados no meio ambiente, devido ao seu reúso, será avaliado os aspectos ambientais relacionados a cada agente químico poluente.

Neste estudo, foram considerados apenas o montante de capital gasto com a madeira, os custos com reagentes, consumo de energia para satisfazer as necessidades térmicas do processo e o potencial de retorno financeiro da polpa de celulose comercial. Na Tabela 3, estão os valores utilizados para os cenários econômicos.

Tabela 3: Custos com matéria-prima e reagentes.

Matéria-prima e reagentes	Valores (US\$/t)
Madeira bruta	35,00
Polpa comercial	900,00
Hidróxido de sódio	600,00
Sulfeto de sódio	700,00
Água	0,50
Oxigênio	850,00
Dióxido de cloro	1150,00

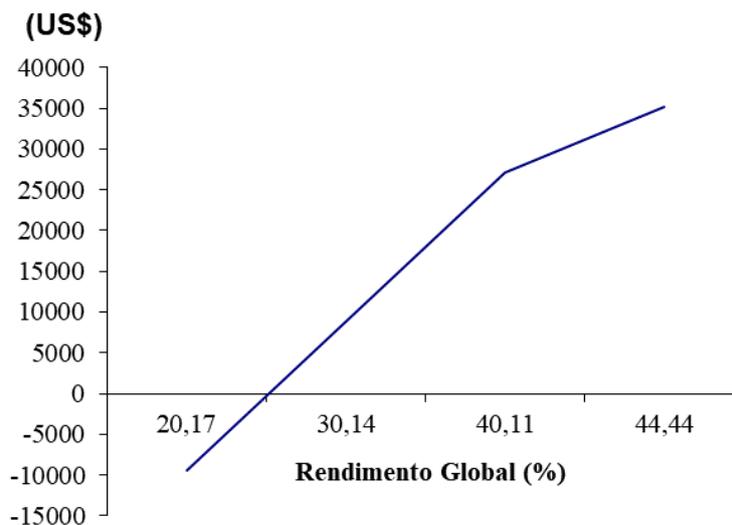
Fonte: BRACELPA, 2019.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão mostrados os resultados para a avaliação e análise dos quatro cenários hipotéticos no processamento da celulose.

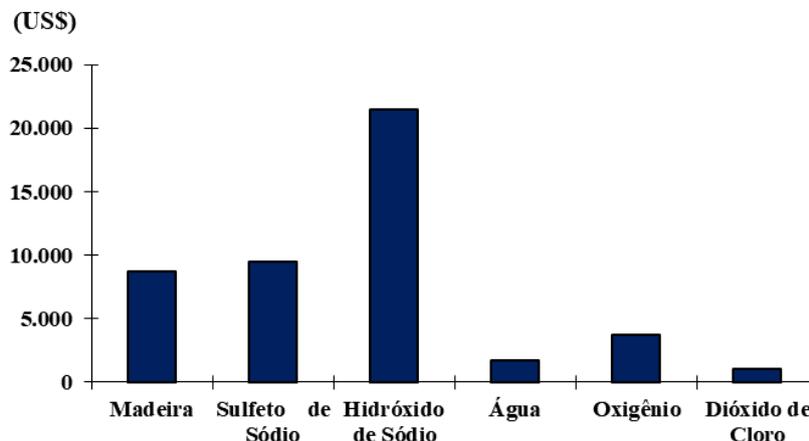
Na primeira situação hipotética, onde não há recuperação de produtos químicos utilizados no processo, a Figura 2 mostra o rendimento global em função do custo e na Figura 3 foram listados os gastos individuais de cada espécie química envolvida.

Figura 2: Avaliação econômica do primeiro cenário hipotético, em que não houve recuperação de produtos químicos no processo.



Na Figura 2, é mostrado que somente é possível obter um retorno financeiro quando o rendimento global do processo atinge um valor superior a 25%.

Figura 3: Avaliação econômica individual dos reagentes e da matéria-prima do primeiro cenário.



Na Figura 3, para os 25% rendimento global mínimo de viabilidade, foi verificado que o maior custo individual está dividido entre o hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfeto de sódio (Na₂S), dado esse que contraria a informação dos estudos de RIBEIRO et al., 2013, que informa que o maior gasto individual do processo de produção de celulose, deveria ser o gasto com a matéria-prima.

Assim, analisando a Figura 3, expõe um problema e reforça a importância da necessidade de recuperação do álcali utilizado na etapa de digestão que é perdido nas correntes 6 e 9. E, é pensando

nisso, que os segundo e o terceiro cenário foram realizados, atribuindo um percentual de recuperação dos reagentes químicos utilizados na produção. Já que a recuperação é realizada por meio de evaporadores na linha.

Nas Figuras 4, 5 e 6; são mostrados os estudos econômicos para o cenário com recuperação de reagentes. Onde analisou-se uma recuperação 10, 40 e 70% dos produtos químicos envolvidos na digestão, respectivamente.

Figura 4: Avaliação econômica do cenário dois, em que há 10% de recuperação de produtos químicos.

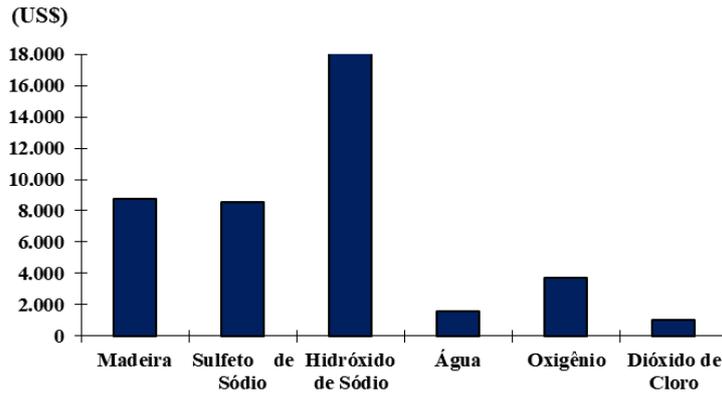


Figura 5: Avaliação econômica do cenário dois, em que há 40% de recuperação de produtos químicos.

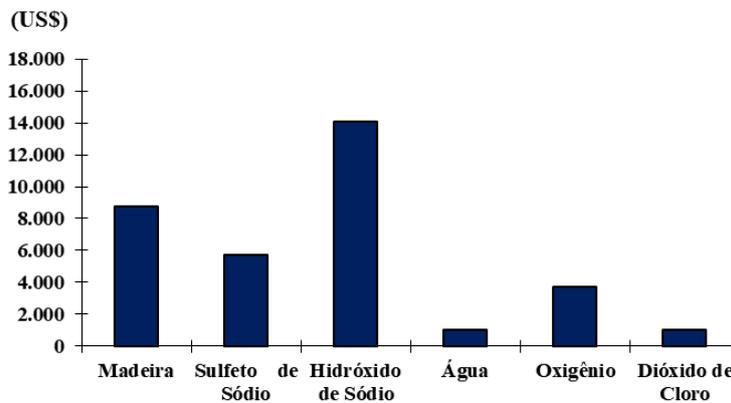
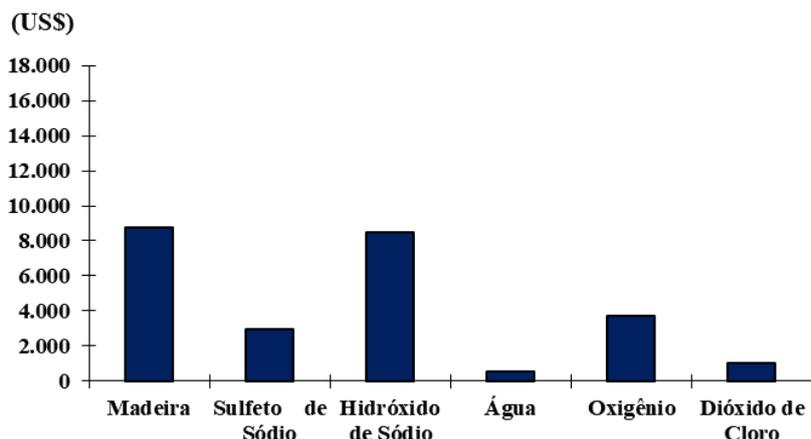


Figura 6: Avaliação econômica do cenário três, em que há 70% de recuperação de produtos químicos.

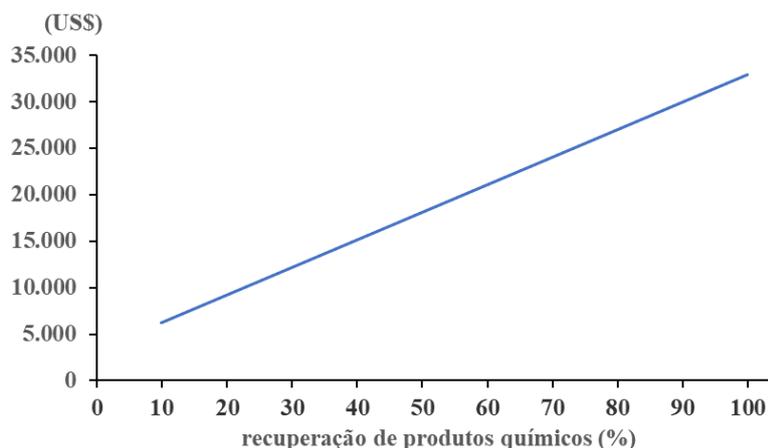


Com a recuperação dos produtos químicos (Figuras 4, 5 e 6), verificou-se que o custo individual da madeira vai aumentando à medida que o percentual de recuperação aumenta. A 10% de recuperação o seu custo já consegue ultrapassar o custo do sulfeto de sódio, mas é somente com uma recuperação de 70% que o custo da madeira consegue ultrapassar o custo do hidróxido de sódio. Desta maneira o quarto cenário torna-se o mais vantajoso, onde a madeira é o maior custo individual do processo.

Dessa forma, ao comparar o primeiro cenário, em que não se considerou a opção de recuperação dos químicos envolvidos na digestão, com os demais cenários, em que a opção de recuperação dos químicos envolvidos na digestão é estimada, verifica-se o aumento do potencial econômico. E isso, já acontece para pequenas taxas percentuais de recuperação dos produtos químicos envolvidos na digestão.

Pela Figura 7, é visualizado o retorno financeiro para diferentes percentuais de recuperação dos reagentes. No mesmo, considerou-se apenas o potencial de venda da polpa comercial menos os gastos com a madeira, reagentes e energia.

Figura 7: Potencial econômico por diferentes percentuais de recuperação de produtos químicos.



De forma geral, simulando a variável de projeto com o mínimo de viabilidade para todos os cenários e confrontando os valores do potencial econômico obtido nos três cenários estudados, compreende-se que é convincente a motivação financeira para a recuperação dos reagentes perdidos nas correntes 6 e 9.

Também, é correto afirmar que com a etapa de recuperação no processo, acarretará em um maior consumo de energia, não sendo considerado na avaliação econômica dos cenários em estudo. Assim, embora o consumo extra de energia pela etapa de recuperação não tenha sido considerado na avaliação do potencial econômico, é válido reforçar que existe a possibilidade de realizar uma integração energética entre a corrente dois e outra linha. Outra problemática é a recuperação de água nas etapas de depuração e lavagem, estimada nos cenários. Em que seria outra alternativa de integração energética e de reusá-la.

Além, dos aspectos econômicos que apresentam melhorias pelo reúso dos reagentes químicos do processo. Também, ocasionam benefícios na redução dos impactos ambientais associados ao descarte através de efluentes no meio ambiente. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983, Art. 1º, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1983; MIRANDA, 2008).

Os impactos ambientais oriundos do descarte dos reagentes químicos sulfeto de sódio, hidróxido de sódio, dióxido de cloro e licor negro (sulfato de sódio, metanol, ácido acético, ácido

fórmico) entre outras substâncias são reduzidos pela regeneração e reutilização no processo de obtenção de celulose (D'ALMEIDA,1988; CARREIRO, 2009). Portanto, além dos aspectos econômicos, os efeitos desta alteração no processo, afetam de forma positiva diversas categorias de impacto ambiental.

De acordo com PIOTTO (2003) e MIRANDA (2008) a *European Environmental Agency* (EEA) relaciona as categorias de impacto, pode-se associar ao processo de obtenção de celulose Kraft que utiliza *Pinus elliottii* as seguintes categorias, que são afetadas pela redução da carga de compostos químicos utilizados:

- Impacto devido ao uso de recursos abióticos: redução dos materiais que são extraídos da natureza para serem utilizados como insumos ou matérias primas;
- Impactos ecotoxicológicos: redução dos efeitos químicos e biológicos de substâncias oriundas do descarte do processo de obtenção de celulose nos ecossistemas;
- Impactos toxicológicos aos seres humanos: redução devido a redução da carga destes agentes no sistema e também nos setores de armazenamento, é considerada a categoria mais complexa de todas, uma vez que esses efeitos dependem das características químicas e bioquímicas da substância, das condições intrínsecas de cada indivíduo;
- Eutrofização: redução deste impacto, que se refere ao lançamento de nutrientes nos corpos de água, causando crescimento excessivo da biomassa de algas e por consequência, provocando impactos aos ecossistemas como alteração da biodiversidade e danos à saúde humana.

4 CONCLUSÕES

Pelo presente estudo ambiental e econômico, constatou-se a importância da reutilização dos produtos químicos para uma indústria de celulose. E ao comparar os quatro cenários hipotéticos, sem recirculação de reagentes químicos e com diferentes percentuais de recuperação, compreendeu-se que quanto maior a recuperação maior será o impacto no balanço econômico da empresa. Em que o lucro aumenta de acordo com o percentual de recirculação dos reagentes químicos, principalmente do hidróxido de sódio, passando a ser o maior custo a matéria-prima.

Com isso, apesar de existir um investimento na inserção de uma nova linha para recuperação do reagente é importante constatar que a longo prazo será significativo no balanço. As mudanças propostas e avaliadas para os 4 cenários hipotéticos possivelmente, afetam o impacto dos efluentes da indústria de celulose no ambiente, foram identificadas 4 categorias de impacto ambiental que são afetadas de forma benéfica pelo reaproveitamento dos reagentes químicos: Impacto devido ao uso de

recursos abióticos, Impactos ecotoxicológicos, Impactos toxicológicos aos seres humanos e Eutrofização.

Apenas com o reaproveitamento dos reagentes químicos é que o custo individual estará vinculado à matéria-prima, conforme a explanação de Ribeiro et. al., 2013. Outro fator que impacta no custo é a energia requerida pelo processo. Portanto, para otimização do processo pode-se ser realizada uma análise de mercado para a compra da madeira, utilizando-se de integração energética para redução de gastos. Concluiu-se que a regeneração dos reagentes químicos, do processo Kraft, para obtenção de celulose é benéfica tanto em relação a aspectos econômicos e impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. et al., Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 16, n. 26, p. 101-220, jul./dez. 2015.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel: Relatório Anual. Disponível em: <<http://www.sinpesc.com.br/images/publicacoes/02sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 17 de jun. 2019.

CARREIRO, M. R. M. **Análise Exergética e Ambiental do Processamento do Licor Negro Gerado em Fábricas de Celulose e Papel**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

CHIRAT, C.; LACHENAL, D.; SANGLARD, M. Extraction of xylans from hardwood chips prior to Kraft cooking. **Process Biochemistry**, v. 47 p. 381-385, 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983**, Art. 1º. Disponível em: <http://www.ucs.br/ccet/denq/prof/jrgimene/PG/Legislação%20e%20Diretrizes%20para%20Elaboração%20em%20EIA-RIMA.ppt> Acesso em: 02 jun.2019.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica**. 2ª ed., v. I, São Paulo, S.P., SENAI/IPT, 1988. 559 p.

IBÁ. Relatório da indústria brasileira de árvores do ano de 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2019.

JUNIOR, P. P. A.; KAKUDA, S. M. CONTROLE ESTATÍSTICO EM PROCESSOS INDUSTRIAIS. **Exatas & Engenharias**, v. 3, n. 05, 23 mar. 2013.

MARTÍN-SAMPEDRO, R. et al., Characterization of lignins from *Populus alba* L. generated as by-products in different transformation processes: Kraft pulping, organosolv and acid hydrolysis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126 p. 18-29, 2019.

MIRANDA, R. E. S. **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**. 2008. 28 f. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2008.

NEVES, G. D. S.; FERREIRA, N. B. D. O.; DE SOUZA, F. P. LOGÍSTICA VERDE. **Exatas & Engenharias**, v. 8, n. 22, 14 nov. 2018.

PALME, A.; THELIANDER, H.; BRELID, H. Acid hydrolysis of cellulosic fibres: Comparison of bleached Kraft pulp, dissolving pulps and cotton textile cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 136 p. 1281-1287, 2016.

PIOTTO, C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso 28** 2003 Disponível em: http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/teses/tese_zeila_c_piotto.pdf Acesso em: 27 nov. 2019

QUEIROZ S. C. S.; GOMIDE J. L.; COLODETTE, J. L. e OLIVEIRA R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, v. 28, nº 6, p. 901-909, 2004.

RIBEIRO, R. N. et al., Avaliação econômica de projetos de controle avançado de processos. **Revista O Papel**, v. 74, n. 3, p. 57-65, 2013.

SCHMIDT, A. K. O.; CONDOTTA, R. Estudo da secagem da polpa de celulose branqueada. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v.6, n.10, p.82357-82371, oct.2020.