



**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO “CONFORMIDADE
AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS”**



Thairine Rossetti

TRATAMENTO DE EFLUENTES EM FÁBRICA DE PAPEL:
Atendimento ao padrão de emissão de DBO menor ou igual a 10mg/L

**São Paulo
2023**



Thairine Rossetti



TRATAMENTO DE EFLUENTES EM FÁBRICA DE PAPEL:
Atendimento ao padrão de emissão de DBO menor ou igual a 10mg/L

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais”, da Escola Superior da CETESB, como requisito para obtenção do título de especialista em Conformidade Ambiental.

Orientador: Profa. Ma. Sandra Ruri Fugita

São Paulo
2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

R74t	<p>Rossetti, Thairine</p> <p>Tratamento de efluentes em fábrica de papel [recurso eletrônico] : atendimento ao padrão de emissão de DBO menor ou igual a 10mg/L / Thairine Rossetti. – São Paulo, 2023.</p> <p>1 arquivo (75 p.) : il. color., PDF ; 4 MB.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Sandra Ruri Fugita.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2023.</p> <p>Disponível também em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>.</p> <p>1. Água – poluição 2. Efluentes industriais - tratamento 3. Oxigênio – demanda bioquímica 4. Papel – indústria - fabricação I. Fugita, Sandra Ruri, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.</p>
CDD (21. ed. Esp.)	628.3 676.042
CDU (2. ed. Port.)	628.515:676:[543.632.44]

Catalogação na fonte: Margot Terada – CR8, 4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB 2024.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS
AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO



Aluno(a):	Thairine Rossetti	
Título do trabalho:	Tratamento de efluentes em fábrica de papel: Atendimento ao padrão de emissão de DBO menor ou igual a 10mg/L.	Turma: 2019

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Paulo Takanori Katayama	10	Assinado de forma digital por PAULO TAKANORI KATAYAMA:78061490820
Avaliador 2 Nome: Alexandre Antonio Jacob de Mendonça	10	Alexandre Antonio Jacob de Mendonça <small>Assinado digitalmente por Alexandre Antonio Jacob de Mendonça CPF: 040.000.000-00 Assinado em: 30/09/2024 15:25:31-0300 Data: 2024/09/30 15:25:31-0300 Assinado em: 30/09/2024 15:25:31-0300</small>
Orientadora Nome: Sandra Ruri Fugita	10	SANDRA RURI FUGITA:25064287801 <small>Assinado de forma digital por SANDRA RURI FUGITA:25064287801 Data: 2024/08/29 12:43:40-03'00'</small>
Nota final	10	
Aprovado em	São Paulo, 27 de Agosto de 2024	

Ciência do aluno(a) nome:	 Documento assinado digitalmente THAIRINE ROSSETTI Data: 30/09/2024 15:25:31-0300 Verifique em https://validar.id.gov.br
---------------------------	---

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, por sempre me incentivarem e apoiarem durante essa jornada e toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos de estudo, por todo o conhecimento compartilhado, ao meu gerente na Softys Brasil, Alexandre Henrique Martins, pela abertura e apoio com o tema, e à minha orientadora Sandra Ruri Fugita, por toda a orientação, conhecimento e experiências trocadas.

RESUMO

Esse trabalho tem por objetivo estudar o caso de um sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de papel que teve uma exigência bastante restritiva em relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), assim foram estudadas as ações realizadas pela indústria para alcançar concentração de DBO de 10mg/L no lançamento de seu efluente tratado. A metodologia utilizada foi a revisão bibliográfica, onde foram usados livros e artigos disponibilizados de forma online e completa. Concluiu-se que, dado o caráter intensamente vinculado ao meio ambiente, o setor de papel e celulose enfrenta a necessidade constante de desenvolver novas técnicas e equipamentos. Essas práticas são essenciais para garantir condições sustentáveis no futuro, destacando a importância de manter Estações de Tratamento de Efluentes eficientes. Essas iniciativas não apenas fortalecem a responsabilidade ambiental do setor, mas também contribuem para a preservação de recursos naturais e a promoção de práticas industriais mais sustentáveis.

Palavras-chave: DBO; fabricação de papel; tratamento de efluentes.

ABSTRACT

This work has the objective of studying the case of an effluent treatment system from a paper industry that has quite restrictive requirements in relation to the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and the ways to achieve the 10mg/L in the launch of the paper industry effluent. The methodology used was a bibliographic review, where books and articles were used and made available online and completely. It is concluded that given its character intensely linked to the environment, the paper and cellulose sector faces a constant need to develop new techniques and equipment. These practices are essential to guarantee sustainable conditions in the future, highlighting the importance of maintaining efficient Effluent Treatment Stations. These initiatives not only strengthen the environmental responsibility of the sector, but also contribute to the preservation of natural resources and the promotion of more sustainable industrial practices.

Keywords: BOD; effluent treatment; paper and cellulose manufacturing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Figura 1 - Máquina de papel tissue	39
Figura 2 - Diagrama da ETE antes da ampliação.....	51
Figura 3 - Diagrama da ETE após a ampliação.....	53
Figura 4 - Gradeamento	53
Figura 5 - Peneiramento.....	54
Figura 6 - Desarenação.....	54
Figura 7 - Decantadores.....	55
Figura 8 - Torres de resfriamento.....	56
Figura 9 - Tanque de equalização e emergência	57
Figura 10 - Reator Anaeróbio IC	59
Figura 11 - Tratamento anaeróbio.....	60
Figura 12 - Tratamento aeróbio (lodos ativados).....	60
Figura 13 - Adensamento	61
Figura 14 - Desague.....	62
Tabela 1 - Características do efluente bruto: Concentrações médias, referente à 2023	48
Tabela 2 - Características do efluente bruto: Quantidade de sólidos, referente à 2023	48
Tabela 3 - Características do Rio Juquery à montante e à jusante do lançamento de efluentes.....	50
Tabela 4 - Efluente bruto e tratado.....	51
Tabela 5 - Histórico do monitoramento da ETE (continua).....	64
Tabela 5 - Histórico do monitoramento da ETE (conclusão)	645

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCTMP	Bleached Chemi-Thermomechanical Pulp = Pasta Termoquímica-Mecânica Branqueada
Bracelpa	Associação Brasileira de Celulose e Papel
BSKP	Bleached Softwood Kraft Pulp = Celulose Kraft de Madeira Macia Branqueada
DAF	Dissolved Air Flotation = Flotação de Ar Dissolvido
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio (DQO)
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica
ECF	Elemental Chlorine Free = Livre de Cloro Elementar
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
ETA	Estação de Tratamento de Água
IC	Internal Circulation = Circulação Interna
MMA	Ministério do Meio Ambiente
SR	Shopper Riegler = Comprador Riegler
TNT	Tecido Não Tecido
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket = Manta de Lodo Anaeróbico de Fluxo Ascendente
UGRHI	Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	23
2.1 POLUIÇÃO INDUSTRIAL	24
2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS	27
2.3 POLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE BRASILEIRA	29
2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	30
3 FABRICAÇÃO DE PAPEL E CELULOSE	33
3.1 INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL	36
3.1.1 Fibras de celulose	37
3.2 PRODUÇÃO DE PAPEL TISSUE	39
3.3 PRODUÇÃO DE PASTA DE CELULOSE	41
3.4 PRODUÇÃO DE PAPEL PARA USO PESSOAL	45
4 ESTUDO DE CASO	47
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	47
4.1.1 Corpo receptor dos efluentes tratados	48
4.2 TRATAMENTO DO EFLUENTE INDUSTRIAL DA EMPRESA	50
4.2.1 Processos físicos	53
4.2.1.1 <i>Gradeamento</i>	53
4.2.1.2 <i>Peneiramento</i>	54
4.2.1.3 <i>Desarenação</i>	54
4.2.1.4 <i>Decantação primária e secundária</i>	54
4.2.1.5 <i>Torres de resfriamento</i>	55
4.2.1.6 <i>Tanque de equalização e emergência</i>	56
4.2.2 Processos biológicos	57
4.2.2.1 <i>Tratamento anaeróbio</i>	57
4.2.2.2 <i>Tratamento aeróbio (lodos ativados)</i>	60
4.2.3 Processos físico-químicos	61
4.2.3.1 <i>Floculação</i>	61
4.2.3.2 <i>Adensamento</i>	61

4.2.3.3 Desague	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
6. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

No século XXI, a poluição dos corpos d'água surge como um dos problemas ambientais mais sérios, uma vez que a escassez de água potável se torna uma ameaça iminente em várias partes do mundo. As indústrias desempenham um papel significativo na degradação ambiental, sendo as indústrias de celulose branqueada particularmente notáveis devido ao considerável consumo de água em seus processos químicos de fabricação de celulose.

Estas indústrias, ao utilizarem água em larga escala, geram efluentes que, mesmo após tratamento, podem impactar negativamente os rios e mares nos quais são descartados. Este impacto é atribuído ao volume considerável e à presença de matéria orgânica biorrecalcitrante proveniente do uso da madeira, a principal matéria-prima no processo de fabricação de celulose. Além disso, o alto consumo de água em etapas como lavagem, diluição, transporte de polpa de celulose e resfriamento de equipamentos agrava a situação (BELTRAME et al., 2016).

No processo de obtenção de celulose, o branqueamento da polpa destaca-se como o principal gerador de efluentes, utilizando agentes químicos seletivos, como o dióxido de cloro no método ECF (Elemental Chlorine Free). Entretanto, este processo resulta na formação de compostos organoclorados, contribuindo para a elevada carga orgânica e a recalcitrância dos efluentes dessas indústrias (MONTEBELLO; BACHA, 2013).

Diante desse cenário, a legislação ambiental estabelece padrões rigorosos para os efluentes, exigindo que as ETE's (estações de tratamento de efluentes) reduzam os contaminantes, garantindo que os efluentes atendam aos padrões de emissão e de qualidade da água definidos pelas leis ambientais.

As indústrias de papéis frequentemente adotam tratamentos físicos primários associados a tratamentos biológicos secundários, sendo o tratamento terciário raramente empregado. Apesar da eficácia do tratamento biológico, ele pode enfrentar

desafios na redução de contaminantes, especialmente quando parte da matéria orgânica é biorrecalcitrante nas condições operacionais das ETE's.

Diante da crescente preocupação ambiental e das demandas sociais, as leis mais rígidas têm levado as fontes geradoras a buscar tratamentos que resultem em efluentes de melhor qualidade, com menores quantidades de contaminantes. Muitos estudos concentram-se em alternativas que combinam processos químicos, físicos e biológicos para aumentar a remoção de contaminantes orgânicos, melhorando assim a qualidade final dos efluentes tratados.

Os sistemas biológicos, especialmente os aeróbios como as lagoas aeradas e os sistemas de lodos ativados, são amplamente utilizados nas indústrias de papel e celulose devido à sua eficiência na oxidação da matéria orgânica. No entanto, a busca por novos processos de remoção da matéria orgânica visa aprimorar ainda mais a qualidade dos efluentes tratados, tornando-os menos prejudiciais ao ambiente receptor de maneira geral. Este desafio contínuo reflete a necessidade de inovação constante na gestão ambiental das indústrias de celulose branqueada (MONTEBELLO; BACHA, 2013).

Os sistemas de tratamento de efluentes industriais vêm se aprimorando com o decorrer dos anos e com isso as normas e exigências técnicas de órgãos ambientais também ficam mais restritivos, mais específicos, contribuindo assim para uma melhora na tratabilidade dos efluentes industriais.

Esse trabalho tem por objetivo estudar o caso de um sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de papel que teve uma exigência bastante restritiva em relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e assim, foram estudadas as ações realizadas pela indústria para alcançar concentração de DBO de 10mg/L no lançamento do efluente tratado.

2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A água é um recurso absolutamente essencial para a sobrevivência da humanidade. Contudo, apenas uma ínfima parcela, correspondente a meros 0,02% da água existente, é adequada para consumo humano. Isso ressalta a urgente necessidade de preservação desse recurso precioso (JAYASWAL; SAHU; GURJAR, 2018).

Silva et al. (2016) menciona que a poluição ocorre quando os resíduos e efluentes alteram o aspecto visual, a composição ou a estrutura do ambiente físico. O ambiente é considerado contaminado quando há mesmo uma pequena ameaça à saúde humana, às plantas e aos animais.

Conforme observado por Jayaswal; Sahu; Gurjar (2018) a poluição dos recursos hídricos refere-se à introdução de substâncias ou formas de energia que causam mudanças diretas nas características da água, interferindo com os usos legítimos que dela fazemos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), quase 70% das bacias hidrográficas localizadas nas regiões sul e sudeste do Brasil se encontram contaminadas por resíduos industriais ou domésticos. Os rios brasileiros estão sujeitos a uma carga de substâncias poluentes quatro vezes maior do que sua capacidade de absorção (HALDER; ISLAM, 2015).

Quando os efluentes industriais e/ou domésticos são descarregados em corpos d'água sem passar pelo devido tratamento, isso pode resultar em perturbações prejudiciais ao meio ambiente. O despejo de resíduos líquidos não tratados provenientes de processos industriais e esgotos domésticos em rios, lagos e córregos causa sérios desequilíbrios no ecossistema aquático e pode até mesmo restringir os usos predominantes da água.

Assim, torna-se imperativo realizar o tratamento dos esgotos e despejos industriais antes de sua liberação nos rios e corpos receptores. O aumento da urbanização e industrialização tem colaborado para o incremento na liberação de poluentes nos corpos d'água.

A recuperação de áreas degradadas pela poluição da água e a restauração de ecossistemas aquáticos são medidas igualmente importantes para reverter os danos já causados. A restauração ecológica de cursos d'água e a recuperação de zonas úmidas podem ajudar a melhorar a qualidade da água e restabelecer o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Além disso, a conscientização pública desempenha um papel crucial na luta contra a poluição da água. A educação ambiental e a promoção da responsabilidade individual podem incentivar as pessoas a adotar práticas mais sustentáveis em suas vidas diárias, como a correta disposição de resíduos e o consumo responsável de recursos naturais hídricos (HASEENA et al., 2017).

Em conclusão, a poluição das águas decorrente das indústrias é um desafio ambiental significativo que exige ação imediata. A adoção de práticas sustentáveis pelas indústrias, regulamentações rigorosas, educação ambiental e a restauração de ecossistemas aquáticos desempenham papéis fundamentais na proteção e preservação dos recursos hídricos. A conscientização e o engajamento de todos são essenciais para garantir um ambiente aquático saudável e sustentável para as gerações futuras.

2.1 POLUIÇÃO INDUSTRIAL

O avanço nos padrões de vida da sociedade e o crescimento econômico têm resultado na adoção de novos materiais e na consequente criação de novos produtos químicos. Esses produtos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da agricultura, no ambiente doméstico, na indústria têxtil, no setor de transporte, na saúde e na indústria em geral. No entanto, segundo De Oliveira; Henkes (2013) o uso desses produtos está associado à contínua emissão de substâncias no meio ambiente, incluindo solo, água e ar, bem como gases, compostos orgânicos voláteis e solúveis, metais pesados, sólidos suspensos, fosforados e corantes.

Da Silva; Serpa; Grando (2022) destacam que o rápido crescimento da indústria nas últimas décadas tornou-se um dos principais fatores responsáveis pela deterioração

dos recursos hídricos. Isso ocorre em função da falta de tratamento adequado de efluentes industriais antes de serem lançados em rios, além de acidentes e descuidos que resultam na liberação de diversos poluentes nos corpos d'água.

As indústrias são uma das principais fontes de poluição da água devido à liberação de resíduos químicos e poluentes orgânicos em rios, lagos e oceanos. Essas substâncias incluem metais pesados, produtos químicos tóxicos, resíduos de processos de produção e efluentes não tratados, que podem contaminar as fontes de água e prejudicar ecossistemas aquáticos (SILVA et al., 2016).

Na indústria, a água é empregada em uma variedade de processos, atuando como solvente, matéria-prima, agente de limpeza, meio de transporte, fonte de vapor, entre outras funções. Geralmente, uma parte considerável dessa água é devolvida à natureza contaminada, suja e inadequada para uso. Quando esses despejos industriais alcançam os rios, eles carregam um elevado potencial poluente, resultando na poluição desses recursos hídricos (HASEENA et al., 2017).

De acordo com Derisio (2016), as características dos despejos industriais variam significativamente com base no tipo de indústria e nos processos industriais empregados. Portanto, é fundamental investigar os principais parâmetros para caracterizar esses despejos, considerando que cada setor industrial utiliza uma matéria-prima específica, o que resulta em despejos distintos.

Os impactos da poluição da água devido às indústrias são significativos. Em primeiro lugar, a vida aquática é gravemente afetada, com mortes em massa de peixes e outros organismos aquáticos. Além disso, a contaminação da água compromete seu uso para fins de consumo humano, causando problemas de saúde, como doenças gastrointestinais e problemas de pele. A poluição das águas também prejudica a biodiversidade e os ecossistemas aquáticos, interrompendo as cadeias alimentares e causando desequilíbrios ambientais (DERISIO, 2016).

Para combater a poluição da água decorrente das indústrias, são necessárias ações coordenadas em várias frentes. Em primeiro lugar, as empresas industriais devem adotar práticas mais sustentáveis e implementar sistemas eficazes de tratamento de

efluentes. Regulamentações mais rígidas e fiscalização eficiente por parte das autoridades governamentais também são essenciais para garantir o cumprimento das normas ambientais.

A origem da poluição industrial pode ser decorrência de compostos orgânicos e inorgânicos, contribuindo assim para a degradação ambiental.

Existem vários compostos orgânicos que não são prontamente biodegradáveis ou têm uma taxa de biodegradação bastante lenta. Alguns desses compostos podem ser identificados em ambientes aquáticos em concentrações aparentemente não tóxicas ou perigosas. No entanto, devido ao fenômeno de bioacumulação, a concentração desses compostos nos tecidos de organismos vivos pode aumentar consideravelmente, especialmente se esses organismos não possuírem sistemas metabólicos para eliminar esses compostos após a ingestão. Exemplos desses compostos incluem pesticidas agrícolas, detergentes sintéticos e petróleo (TURNELL; CRISPIM, 2014).

Dentre esses compostos, o petróleo e seus subprodutos são particularmente significativos como poluentes, principalmente devido ao aumento constante na extração e industrialização dessas substâncias (DA SILVA; SERPA; GRANDO, 2022).

Os compostos inorgânicos, em sua maioria, englobam metais pesados e suas variantes.

Ao longo dos séculos, vários desses metais foram liberados das rochas e se acumularam em rios, lagos e oceanos. Normalmente, a concentração natural de metais pesados nos corpos d'água não atinge níveis tóxicos, uma vez que a água contém substâncias específicas, como ácidos complexos, que se associam aos átomos desses metais, originando compostos metálicos inofensivos chamados quelatos, os quais tendem a se sedimentar. No entanto, as atividades industriais introduziram quantidades excessivas de metais pesados na água em comparação com a ocorrência natural, resultando na poluição (PERPETUO, 2014).

A elevada presença de metais pesados no meio ambiente, disseminada pelo solo, água e atmosfera, tem suscitado preocupações globais. Esses metais podem ser carregados por líquidos, como águas pluviais, infiltrando-se no solo e atingindo os lençóis freáticos, resultando na contaminação da água subterrânea. A contaminação dessas águas apresenta desafios de remediação complexos e persiste por períodos indefinidos. Além disso, esses metais têm o potencial de contaminar o solo, impactando negativamente os organismos vivos presentes neste ambiente (DE OLIVEIRA; HENKES, 2013).

2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS

A indústria faz uso da água de diversas maneiras, que vão desde sua incorporação nos produtos até a realização de processos de limpeza de máquinas e equipamentos. Ao descontarmos a água incorporada ao produto e as perdas devido à evaporação, o remanescente torna-se contaminado por resíduos provenientes do processo industrial, culminando na formação de efluentes líquidos. Ao serem descarregados em um corpo receptor, esses efluentes podem alterar a qualidade da água, levando à sua poluição ou degradação. Esse cenário tem suscitado uma crescente preocupação devido ao aumento no volume de efluentes gerados por atividades industriais e lançados em rios afetando comunidades ribeirinhas e grandes centros urbanos, que dependem desses corpos d'água para abastecimento.

De acordo com Beltrame et al. (2016) O descarte de efluentes, especialmente os industriais e domésticos, nos recursos hídricos está diretamente ligado ao conceito de sustentabilidade. Para que esses efluentes possam ser lançados no ambiente ou reutilizados, é necessário que atendam aos padrões estabelecidos por legislações, resoluções, normas e outros regulamentos.

Ainda segundo Beltrame et al. (2016) o conhecimento aprofundado sobre a composição do efluente, englobando aspectos físicos, químicos e biológicos, é fundamental para a indústria, pois com base nessa informação é possível determinar o tipo de tratamento adequado e tomar decisões bem fundamentadas em relação à fonte poluidora.

Para que os efluentes industriais possam ser descartados no meio ambiente, é imprescindível que atendam aos requisitos estabelecidos na Resolução CONAMA nº430/2011 e no Decreto nº 8468/1976 do Estado de São Paulo. Essas legislações estabelecem as condições, padrões, parâmetros e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos d'água receptores. Dentre os principais parâmetros físico-químicos e biológicos definidos para a realização do descarte de efluentes, estão: temperatura, materiais sedimentáveis, pH, óleos e graxas, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), metais pesados (cádmio, chumbo, zinco, ferro, cromo, mercúrio, etc.), nitrogênio, compostos tóxicos, sulfatos, agentes tensoativos-ABSa, fenóis, além da vazão do efluente. Geralmente, um subconjunto desses parâmetros é usado para caracterizar o efluente de uma determinada empresa ou setor.

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas provenientes tanto de fontes vegetais quanto derivadas do petróleo. Embora não sejam comuns em águas naturais, quando encontrados, geralmente provêm de postos de gasolina, despejos e resíduos industriais, efluentes de oficinas, esgotos domésticos, estradas e vias públicas. Os efluentes industriais são os principais responsáveis pelo aumento da presença de matérias graxas nos corpos d'água, ocasionando impactos visuais negativos nos recursos hídricos e reduzindo a área de contato entre a superfície da água e a atmosfera, o que prejudica a troca de oxigênio entre esses dois ambientes (MARCONDES, 2012).

Os metais assumem várias formas quando presentes no ambiente aquático, e cada um deles exibem comportamentos distintos. Quando presentes nos efluentes industriais, esses metais diminuem a capacidade de autodepuração da água devido aos efeitos tóxicos que exercem sobre os microrganismos. Isso resulta em uma elevação na demanda bioquímica de oxigênio (DBO), indicando um processo de eutrofização (ARAÚJO et al., 2014).

Esse conjunto de normativas busca equilibrar a proteção ambiental com a necessidade de atividades que gerem efluentes, destacando a importância de um gerenciamento ambiental eficaz para o desenvolvimento sustentável.

2.3 POLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE BRASILEIRA

Os efluentes originados nas indústrias de papel e celulose frequentemente contêm sólidos suspensos, principalmente compostos por fibras ou partículas fibrosas. Essa matéria tende a se depositar em áreas próximas ao ponto de descarga, gerando uma espécie de leito de fibras, onde pode ocorrer a decomposição biológica, resultando na liberação de gás metano (PERPETUO, 2014).

As fibras finas em suspensão que não se depositam provocam um aumento na turbidez da água no corpo receptor e reduzem a capacidade de transmitir luz. Isso pode causar sintomas de asfixia em peixes, influenciar em seu crescimento e alterar a composição sanguínea dessas espécies.

Uma parte significativa dos componentes da madeira que se dissolve na água é facilmente biodegradável. A quantidade de compostos degradáveis pode ser quantificada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que reflete a quantidade de oxigênio consumida durante a oxidação bioquímica da matéria orgânica em condições específicas. Esses compostos prejudicam o meio ambiente porque consomem o oxigênio disponível no corpo d'água receptor, afetando as espécies biológicas e resultando em um processo de fermentação (DA SILVA; SERPA; GRANDO, 2022).

Por outro lado, os compostos que se degradam lentamente são compostos, em sua maioria, por substâncias de alto peso molecular, como lignina e carboidratos. A presença desses compostos pode ser reconhecida pela DQO, que retrata a quantidade total de substâncias oxidáveis na água.

Os compostos de degradação lenta costumam ser coloridos e, portanto, afetam a penetração de luz na água, afetando a qualidade da água. Além disso, aqueles com tendência a serem absorvidos por organismos vivos podem se acumular e causar efeitos prejudiciais. Pesquisas sobre a toxicidade dos efluentes das fábricas de celulose revelaram que o licor negro e os condensados possuem componentes com maior toxicidade para os peixes (TURNELL; CRISPIM, 2014).

As etapas de cloração e alcalinização no processo de branqueamento, frequentemente, geram efluentes contendo substâncias tóxicas. Esses efluentes também podem afetar o pH dos corpos receptores. Geralmente, tanto valores de pH elevados (superiores a 9) quanto valores baixos (inferiores a 5) impactam na vida biológica e amplificam o efeito tóxico dos efluentes.

2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

O Decreto Estadual nº8.468, de 08 de setembro de 1.976, em seus artigos 11º à 16º, estabelecem os padrões de qualidade das águas de acordo com a classificação do corpo hídrico e, nos capítulos 18º à 19º, as condições e os padrões de emissão aos lançamentos feitos, diretamente, ou indiretamente, por fontes de poluição através de canalizações pública ou privada, bem como de outro dispositivo de transporte, próprio ou de terceiros.

Nesse estudo de caso, em específico, é aplicado o artigo 18º, que trata sobre os efluentes de qualquer fonte poluidora lançados diretamente no corpo d'água. Vale citar que seu § 1º estabelece que, além de obedecerem aos limites deste artigo, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o enquadramento dele na Classificação das Águas, ou seja, proíbe o lançamento de efluentes que prejudiquem a qualidade da água e, com a possibilidade de autorização pela CETESB mediante estudos de impacto ambiental.

Os padrões de qualidade da água na legislação federal estão apresentados na Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2.005, especificamente nos artigos 14, 15, 16 e 17 que se referem às águas doces de Classes 1, 2, 3 e 4; nos artigos 18, 19 e 20 para águas salinas de Classes 1, 2 e 3; e nos artigos 21, 22 e 23 para águas salobras de Classes 1, 2 e 3.

A Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011, fortalece as diretrizes citadas acima. Em seu artigo 3º determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora, só podem ser lançados após tratamento que atenda às condições e padrões estipulados

nesta resolução, podendo o órgão ambiental adicionar exigências técnicas mais restritivas conforme as condições do corpo receptor, de acordo com o parágrafo único.

No que diz respeito a DBO, a Resolução CONAMA n°430, no seu artigo 16°, impõe uma exigência de eficiência de remoção mínima de 60%, sendo que este limite poderá ser reduzido, caso comprove o atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Para tratamento de esgotos sanitários, conforme o artigo 21° desta resolução, a DBO máxima é 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor, além de restringir os sólidos sedimentáveis a menos de 1,0 ml/l. No âmbito estadual paulista, o Decreto Estadual eleva o rigor ao manter o limite de 60 mg/l para DBO, sendo que esse limite poderá ser ultrapassado desde que apresente uma eficiência de remoção mínima de DBO de 80%, sendo mais restritiva do que a norma federal.

3 FABRICAÇÃO DE PAPEL E CELULOSE

O advento do papel representa uma das realizações mais significativas na história da humanidade, pois revolucionou a maneira como armazenamos informações, nos comunicamos e registramos nosso conhecimento. A história do papel é rica e remonta a milhares de anos, traçando sua origem até as antigas civilizações chinesa e egípcia.

Acredita-se que o papel tenha sido inventado na China por volta do século II a.C. Inicialmente, o papel era fabricado a partir de uma variedade de materiais, como cascas de árvores, cânhamo, redes de pesca e outros recursos vegetais disponíveis. Esses materiais eram desfeitos, transformados em polpa e depois moldados em folhas de papel.

A qualidade do papel chinês era notável, e essa tecnologia de fabricação de papel logo se espalhou para outras partes do mundo, graças às rotas comerciais da Antiga Rota da Seda. No entanto, o segredo da produção de papel permaneceu guardado pelos chineses por muitos anos.

O papel chegou ao mundo islâmico no século VIII e se espalhou rapidamente pela região. A partir daí, a tecnologia do papel se difundiu ainda mais para o Ocidente, especialmente após a captura de Samarcanda (atual Uzbequistão) pelos árabes no século VIII, quando aprenderam os segredos da produção de papel. Com isso, a difusão da técnica de fabricação de papel acompanhou a expansão geográfica dos domínios árabes chegando a Península Ibérica no século XI e daí para Europa.

Na Europa, a produção de papel se expandiu durante a Idade Média, com moinhos de papel sendo estabelecidos em várias regiões. Antes disso, os europeus usavam principalmente o pergaminho, feito de peles de animais, para registrar informações. O papel era uma alternativa mais econômica e acessível, o que contribuiu para sua rápida adoção.

A invenção da prensa de impressão por Johannes Gutenberg no século XV também desempenhou um papel fundamental na disseminação do conhecimento, já que o

papel era o suporte perfeito para a impressão em massa. A Bíblia de Gutenberg, impressa por volta de 1455, é frequentemente considerada um marco na história da impressão em papel.

A qualidade do papel é diretamente influenciada pela matéria-prima utilizada. Conforme indicado pela Bracelpa (2008), o papel é comumente produzido a partir de polpas de madeira, sendo a celulose obtida por meio de processos químicos ou mecânicos que extraem as fibras da matéria vegetal. Tradicionalmente, essas fibras são extraídas de árvores, principalmente da espécie conífera, como pinus e araucária, ou de outras árvores que possuam fibras mais suaves.

A celulose é o principal componente do papel, representando a maior parte de sua composição, geralmente entre 80% e 95%. A celulose é uma macromolécula de carboidrato encontrada nas paredes celulares das plantas. Na produção de papel, a celulose é obtida de várias fontes, como madeira de árvores, polpa de papel reciclado ou até mesmo fibras de algodão. A escolha da fonte de celulose afeta as propriedades do papel, como sua resistência e opacidade (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

As plantas contêm um composto natural chamada celulose, que se espalha por toda a planta. Este composto é um dos principais componentes das células vegetais e é frequentemente referido como “fibras” devido ao seu formato fino e alongado (PIOTTO, 2003). As fibras de celulose podem ser categorizadas como virgens ou recicladas. As fibras virgens são adquiridas diretamente do processo de transformação da madeira, enquanto as fibras recicladas têm origem em restos de papel ou na reciclagem de papéis usados. Porém, é importante ressaltar que a celulose reciclada não pode substituir totalmente as fibras virgens, pois estas se degradam a cada ciclo de reciclagem.

Quando a celulose é destinada à criação de papel dentro de uma fábrica ligada à produção de seus materiais base, ela é classificada como celulose integrada. Em contrapartida, a celulose vendida apenas como insumo para a fabricação de papel é denominada celulose de mercado (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010). Ressalta-se que nem toda a produção de celulose é utilizada na fabricação de papel. A celulose solúvel, por exemplo, é utilizada em diversos produtos como têxteis (BNDES, 2012).

Com base na categorização do BNDES em 2012, a celulose, seja ela mercantil ou integrada, enquadra-se na classificação de celulose kraft branqueada de fibra curta (BHKP) ou celulose kraft branqueada de fibra longa (BSKP), celulose kraft não branqueada e pasta mecânica. A BHKP é feita através de um processo químico e é utilizada principalmente na fabricação de papéis de impressão e escrita, papéis sanitários, especiais e papel-cartão. No Brasil, a variedade de celulose predominante é aquela que constituiu 86,7% da produção total de celulose da indústria em 2018, segundo relatório do IBÁ de 2020.

A maior parte da constituição do papel é oriunda da celulose, que é o componente mais importante no processo de fabricação do papel. Além da celulose, também são utilizadas matérias-primas não fibrosas como cargas minerais, colas, amidos e corantes (PIOTTO, 2003). As aplicações do papel são diversas e podem ser classificadas em diversas categorias, como papéis de jornal, impressão e escrita, embalagens e produtos descartáveis. O papel de jornal é predominantemente usado na impressão de jornais, mas também em revistas, periódicos, listas telefônicas e suplementos.

Os papéis de imprimir e escrever são categorizados em quatro subgrupos com base em duas características definidoras: revestimento (revestido ou não revestido) e processo de fabricação ("livre de madeira" se for feito exclusivamente de celulose branqueada ou "contendo madeira" se também contiver polpas de alto rendimento além de celulose). É importante ressaltar que a presença de revestimento e a falta de pasta mecânica contribuem para a alta qualidade e valor do papel. O subgrupo é frequentemente agrupado com papel de jornal sob o termo genérico "papéis gráficos". As embalagens englobam diversos tipos de papéis, como kraftliner, testliner, sackkraft e papelão, entre outros. O lenço descartável ou papel higiênico é utilizado para fins sanitários, sendo o papel higiênico seu principal produto (BNDES, 2012).

A indústria de papel e celulose executa um papel fundamental na fabricação de diversos tipos de papel utilizados em diversos setores da sociedade. Essa produção é o resultado da transformação da matéria-prima de origem vegetal em polpa por meio de processos industriais, que culmina na fabricação de folhas de papel.

O setor de papel e celulose abrange uma ampla gama de atividades, e suas capacidades contribuem significativamente para o crescimento e desenvolvimento do país. Fatores como a qualidade e a quantidade de recursos naturais disponíveis, juntamente com o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a sustentabilidade, criam um ambiente propício para a competitividade internacional (PINHEIRO, 2008).

3.1 INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL

A primeira fábrica de papel no Brasil foi estabelecida em 1852, e por mais de um século, a celulose utilizada nas fábricas de papel foi importada. No entanto, à medida que a produção de papel aumentou, surgiu a necessidade de instalar fábricas de celulose no país. Isso se deu porque, até então, a celulose era produzida a partir de coníferas, que não se desenvolviam bem nas condições brasileiras (LOPES; CONTADOR, 1998).

Lopes; Contador (1998) revelam que em 1954 surgiu uma alternativa na fabricação de papel com o uso de 100% de celulose de eucalipto (fibra curta). Desde então, essa alternativa provou ser incrivelmente eficiente e versátil no Brasil, com o eucalipto demonstrando notável adaptabilidade e produtividade.

Lopes; Contador (1998) relataram que durante a década de 1970, o governo apoiou a indústria através da implementação do segundo Plano Nacional de Desenvolvimento e do primeiro Plano Nacional de Celulose e Papel. Estes planos também foram reiterados na década de 1980 para reforçar ainda mais o setor. Nesse período, a Aracruz Celulose alcançou uma produção de 1000 toneladas por dia, marcando um ponto importante para o setor. Nos tempos modernos, a produção média diária das fábricas de celulose atingiu impressionantes 3.000 toneladas, indicativo de avanços significativos na indústria.

Com base em informações fornecidas pela Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa) em 2008, observou-se que o Brasil abriga um total de 220 empresas que atuam no setor distribuídas em 450 municípios, presentes em 17

estados de todas as cinco regiões do país. Essas empresas ocupam uma área total de 2 milhões de hectares destinada a fins industriais, mantêm 2,7 milhões de hectares de áreas florestais totalmente certificadas e mais 2,8 milhões de hectares de florestas preservadas.

Segundo o relatório da Bracelpa (2008), as exportações totalizaram 5,8 bilhões de dólares, o que contribuiu para uma balança comercial de 4,1 bilhões de dólares. Isso representa cerca de 16,7% da balança comercial geral do Brasil e resultou em impostos no valor de R\$ 2,2 bilhões. Na última década, o setor investiu uma quantia substancial de 12 bilhões de dólares, o que levou à criação de 114 mil empregos diretos. Destes, 67 mil empregos estão na indústria e 47 mil postos pertencem ao setor florestal. Além disso, o investimento também gerou 500 mil empregos indiretos.

Segundo Rocha et al. (2005) registraram que a produção de celulose está localizada principalmente em cinco estados: São Paulo, que é o Estado com maior produção, Espírito Santo, Santa Catarina, Minas Gerais e Paraná. Além disso, a maior parte da produção de celulose é realizada por algumas poucas empresas, com cerca de 10 delas sendo responsáveis por aproximadamente 60% da produção total.

Com base nos dados da Bracelpa (2008), o Brasil ocupa atualmente o quarto lugar na lista dos maiores produtores mundiais de celulose. Essa posição coloca o Brasil atrás dos Estados Unidos, China e Canadá.

3.1.1 Fibras de celulose

A celulose é um dos materiais mais versáteis e amplamente utilizados em nosso cotidiano. É a principal matéria-prima na fabricação de papel, um elemento fundamental em uma variedade de produtos que vão desde papéis de escrita até embalagens e produtos descartáveis. Por trás da versatilidade desse material está a estrutura básica que o compõe: as fibras da celulose (HORTAL, 2007).

As fibras da celulose são os blocos de construção essenciais do papel. Elas são obtidas a partir da celulose, que é um polissacarídeo encontrado nas paredes

celulares das plantas. A celulose é uma das substâncias naturais mais abundantes na Terra e é responsável pela estrutura e resistência das plantas.

As fibras de celulose são notáveis por sua forma alongada e fina, que lhes confere propriedades únicas no contexto da fabricação de papel. Existem dois principais tipos de fibras de celulose utilizadas na produção de papel: as fibras curtas e as fibras longas (ROBERT, 2007).

As fibras curtas são geralmente obtidas de fontes de celulose com fibras de menor comprimento, como as árvores de eucalipto. Essas fibras têm a vantagem de criar papéis mais suaves e lisos, ideais para aplicações como papéis de impressão e escrita. Sua curta extensão as torna altamente interligadas, contribuindo para a coesão do papel.

As fibras longas, por outro lado, são frequentemente obtidas de árvores coníferas, como o pinheiro. Elas são notáveis por sua resistência e durabilidade, tornando-as ideais para a produção de papéis de embalagem, papelão e materiais que exigem uma maior capacidade de suportar estresses mecânicos.

A escolha entre esses dois tipos de fibras, bem como sua proporção na composição do papel, é crucial para determinar as características do produto final. Por exemplo, um papel de alta qualidade para impressão pode ser produzido com uma alta proporção de fibras curtas, proporcionando uma superfície suave e agradável ao toque. Por outro lado, embalagens de papelão requerem uma maior proporção de fibras longas para garantir resistência e durabilidade (FOELKEL, 2014).

Além disso, o processo de fabricação do papel envolve o entrelaçamento das fibras de celulose, resultando na formação de uma matriz tridimensional que dá ao papel suas propriedades físicas, como resistência à tração, porosidade e opacidade. A manipulação das fibras durante esse processo é crucial para a obtenção das características desejadas do papel.

As fibras da celulose, embora muitas vezes consideradas simples, são, na verdade, a base estrutural de um material incrivelmente versátil e essencial em nossa vida diária.

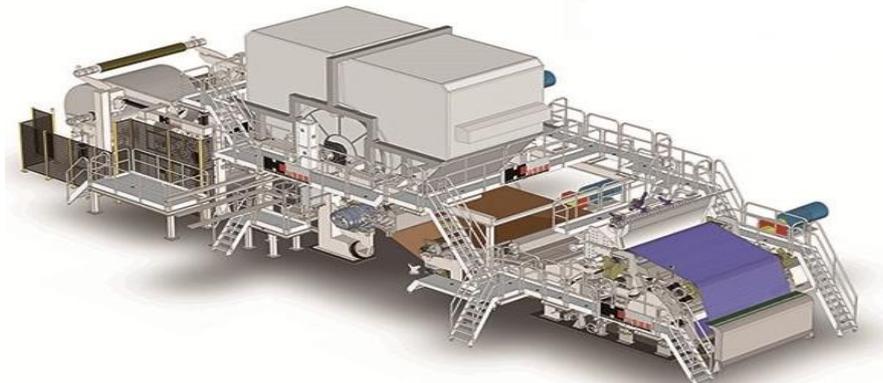
Sua variedade de tipos e características permite a produção de uma ampla gama de papéis, cada um atendendo a necessidades específicas em diferentes setores da indústria e em nosso dia a dia. Portanto, reconhecer a importância das fibras de celulose é fundamental para apreciar a diversidade e utilidade do papel em nossa sociedade.

3.2 PRODUÇÃO DE PAPEL TISSUE

A primeira etapa da fabricação de papel engloba a preparação da massa, na qual um tanque desagregador desempenha o papel fundamental de rapidamente criar uma suspensão de fibras de celulose em água com a consistência adequada. Posteriormente, a massa passa por tratamentos mecânicos, também conhecidos como refinamento, com o objetivo de conferir às fibras características como maleabilidade, hidratação e expansão de área. Para concluir o estágio de preparação da massa, ela segue para a depuração, que visa a eliminação de impurezas menores, proporcionando uma massa mais limpa (CAMPOS, 2012).

Dentro do processo de fabricação de papel, a massa é direcionada para a máquina de papel, semelhante àquela ilustrada na Figura 1. De acordo com Gallo (2014), a formação da folha ocorre à medida que a massa passa pela caixa de entrada, que age como um elo entre a etapa de preparação da massa e a máquina de papel, reduzindo turbulências e alimentando o fluxo de massa de forma homogênea pela tela formadora. Essa tela tem a responsabilidade de distribuir a massa e criar uma folha uniforme.

Figura 1 - Máquina de papel tissue



A folha de papel recém-formada passa por um processo de prensagem, durante o qual a água é removida por sucção e compressão. A umidade restante na folha é posteriormente eliminada pelo calor, à medida que a folha passa pelo cilindro secador conhecido como Yankee (SARAIVA; CAPO, 2003).

As etapas essenciais da fabricação de papel são: desagregação; refinação; depuração; caixa de entrada; enrolamento; secagem; prensagem e tela formadora. O processo de produção de papel inicia na preparação de massa onde as fibras são desagregadas no hidrapulper utilizando água reaproveitada do processo. É no hidrapulper que são adicionados a maioria dos produtos químicos.

Na etapa de depuração, a massa segue para tanques de estocagem e é bombeada para um separador que tem como função retirar as impurezas mais pesadas do que a fibra por força centrífuga, tais como: areia, arame, etc (CAMPOS, 2012).

No processo de refinação são retirados por força centrífuga aqueles materiais indesejáveis como plástico, palitos e outros que não foram eliminados na depuração em alta consistência. Após essa depuração, a massa é bombeada para a máquina de papel onde entra através da caixa de entrada.

Após o depurador vertical a solução fibrosa é enviada para a caixa de entrada que tem a função de diminuir o máximo possível a turbulência do fluxo, manter uma pressão constante em toda a sua extensão e distribuir esta solução fibrosa sobre a tela formadora (SARAIVA; CAPO, 2003).

A massa é depositada na mesa plana, sobre a tela formadora, onde o papel é formado e no seu percurso existem elementos desaguadores chamados hidro-foils, caixas de vácuo, cuja função é formar e desaguar o papel (GALLO, 2014).

Com a folha já formada, a mesma é conduzida por feltro e passa por uma sessão de prensagem, onde temos uma prensa de sucção (rolo perfurado com vácuo em contato com outro rolo sobre pressão), e por mais duas prensas que estão em contato com o

monolúcido, onde na primeira prensa o papel é transferido para o monolúcido (CAMPOS, 2012).

A função das prensas é desaguar, drenar a folha, aumentando sua consistência, facilitando assim a sua secagem que é realizada por um equipamento de forma cilíndrica, que tem como função acabamento e secagem do papel, que trabalha pressurizado com vapor para que possa ser feita a troca térmica para a secagem do papel (SARAIVA; CAPO, 2003).

Capota, equipamento de cobertura do cilindro monolúcido, cuja função é completar a secagem do papel. Através da capota insuflamos ar quente na folha, que está em contato com o monolúcido, a fim de completar a secagem do papel.

Segundo Gallo (2014), através de equipamento que possui uma lâmina de aço que fica em contato com o cilindro, é que destacamos a folha e damos o crepe que o papel necessita. E, por final, são enroladas as bobinas de papel que a máquina produz.

3.3 PRODUÇÃO DE PASTA DE CELULOSE

O processo de extração e processamento da celulose é conhecido como polpação e pode ser realizado por meio de métodos químicos, mecânicos ou uma combinação de ambos. Posteriormente, a polpa passa por uma série de processos diversos que variam de acordo com o uso pretendido do produto. Às vezes, a polpa pode ser submetida a uma etapa de branqueamento, mas apenas em circunstâncias específicas (MONTEBELLO; BACHA, 2013).

A principal fonte dessas fibras é derivada dos troncos das árvores. Para separar essas fibras, um passo inicial deve ser dado. De forma semelhante ao processo utilizado para pastas químicas, a madeira é convertida em fragmentos ou cavacos. Esses chips passam por um processo de cozimento, amolecimento e desmontagem parcial, que por sua vez individualiza as fibras. Isso é comumente chamado de polpa ou pasta marrom. O próximo passo é purificar, lavar, branquear e armazenar essas fibras em grandes tanques, que depois são transportadas para fábricas integradas para produção de papel. Alternativamente, podem ser transferidos para fábricas

especializadas na produção de celulose, onde são utilizados para a confecção de fardos ou folhas por meio de um processo de formação e secagem (NUNES; FERREIRA; PUJOL, 2014).

O processo de produção de celulose se inicia com a alimentação de cavacos, que são armazenados em silos e possui um fluxo vertical descendente dentro do silo, sendo retirado através de roscas transportadoras, que conduzem os cavacos até o lavador de cavacos.

A lavadora possui lâminas giratórias que mergulham os cavacos na água. Enquanto submerso, detritos pesados, como areia, pedra, casca de árvore e serragem, são coletados e removidos periodicamente por meio de uma purga. Após a lavagem, os cavacos são transferidos para um reservatório cheio de água e depois transportados para uma rosca de desidratação. A rosca movimentada os cavacos pelo processo, drenando o excesso de água, até chegarem ao recipiente de vapor. A água drenada é purificada em hidrociclone e reintroduzida no processo, conforme descrito em CARVALHO; SILVA; SOARES (2012).

O reservatório de vapor é composto por um recipiente que coleta os cavacos drenados através de uma abertura localizada em sua seção superior. Sua principal finalidade é eliminar o excesso de ar dos cavacos, resultando em um nível de umidade mais uniforme e elevado. Isto leva a um fluxo constante e contínuo de chips para as etapas seguintes.

Durante o processo de impregnação, os cavacos são transportados do recipiente de vapor para uma rosca de alimentação com formato de cone. Este parafuso de alimentação aplica pressão aos cavacos, comprimindo-os entre o seu invólucro e o próprio parafuso. Essa pressão ajuda a eliminar o excesso de líquido dos cavacos, retirar o ar e, por fim, prepará-los para a impregnação (MONTEBELLO; BACHA, 2011). Os cavacos comprimidos passam para uma câmara pressurizada. Há uma interface entre os sistemas atmosférico e pressurizado chamado blow-back. Nessa câmara, onde os cavacos adentram, trata-se na verdade do impregnador.

O impregnador é composto por um par de parafusos paralelos entre si em disposição vertical. Esses parafusos são projetados para receber os cavacos em sua extremidade inferior e movê-los para cima em direção a um transbordamento localizado na extremidade superior do invólucro do parafuso. O sistema já está pressurizado e pode operar na faixa de 0,5 a 3,0 bar de pressão. Este processo de impregnação é alimentado não só por cavacos, mas também por uma solução, que pode ser água (TMP) ou química (CTMP). O nível da solução é cuidadosamente monitorado para garantir que o cavaco permaneça dentro da compressão feita pela rosca de alimentação, promovendo assim a penetração ideal da solução de impregnação (MONTEBELLO; BACHA, 2013).

O transbordamento do impregnador facilita a transferência dos cavacos para o pré-aquecedor, que atua como uma área intermediária de armazenamento para aumentar a eficácia da reação dos produtos químicos de impregnação. O pré-aquecedor está em comunicação direta com o impregnador e é equipado com um sistema raspador em sua base. Este sistema tem a mesma finalidade dos silos de cavacos, garantindo que os parafusos que removem os cavacos de sua base permaneçam carregados de maneira uniforme.

O processo de refino é composto por uma série de dois refinadores, ambos do tipo disco simples, equipados com rotor/estator paralelo de 50 polegadas de diâmetro, alimentados por motores de 4 MWh cada. O primeiro refinador é pressurizado e recebe cavacos através de parafusos do pré-aquecedor. Seu objetivo principal é desfibrar o chip em feixes de fibras, evitando níveis de refinamento que proporcionem uma drenabilidade média de 13 graus SR (Shopper Riegler). Isso é feito para promover a drenabilidade desejada em duas etapas e evitar o consumo excessivo de energia no refino primário, que pode levar a danos nas fibras e geração de finos (DIAS; SIMONELLI, 2013).

O refinador primário envia a polpa, juntamente com o vapor gerado durante o processo de refino, para um separador de ciclone sob pressão própria. Esse separador tem duas finalidades: reaproveitar o vapor gerado durante o refino e transferir a polpa para a próxima etapa do refino. Uma válvula rotativa localizada na parte inferior do separador facilita a transferência da polpa já sob pressão

atmosférica. Na etapa seguinte, o refinador secundário é responsável por conferir à polpa a sua drenabilidade final. A polpa refinada é então transferida por gravidade para um sistema composto por parafusos e uma bomba de alta consistência, enquanto o separador de ciclone recebe em troca tanto a polpa refinada quanto os resíduos de purificação (CARVALHO; SILVA; SOARES, 2012).

A etapa inicial da depuração começa neste ponto. Para atingir as condições necessárias para a depuração, a polpa refinada é bombeada para o topo de uma torre de retenção/latência que facilita o fluxo ascendente. A polpa é recebida com consistência em torno de 10% e é diluída até cerca de 1% na base da torre. Além disso, esta torre de retenção serve para eliminar a latência, que é o estresse da fibra causado pela alta energia recebida durante o refino, resultando no encurvamento ou enrolamento da fibra. (NUNES; FERREIRA; PUJOL, 2014)

O processo de refino das fibras envolve a utilização de uma ferramenta conhecida como depurador ou peneira pressurizada. Este dispositivo funciona captando uma suspensão de fibras e filtrando qualquer material que não tenha passado pelo processo de refino adequado. Especificamente, ele tem como alvo feixes de fibras conhecidos como palitos. A saída do depurador é um fluxo de resíduos controlado para ser aproximadamente 20% do volume de entrada inicial. Esses resíduos são então transferidos para um tanque intermediário, conhecido como tanque de rejeitos. De lá, é enviado para a linha de massa que fornece o refinador secundário, conforme descrito no estudo de Montebello; Bacha (2011).

Para processar o óleo, ele é primeiro bombeado para um filtro de tambor rotativo. Este filtro concentra a suspensão de fibras em grau significativo, variando de 1 a 15%, através da criação de uma manta de vácuo. A geração desse vácuo é facilitada por uma perna barométrica que é formada pelo desnível do grande volume de água retirado da polpa. Adicionalmente, este filtro pode funcionar como etapa de lavagem, onde chuveiros de lavagem são introduzidos ao longo do perfil da manta de celulose. Esse processo de lavagem estimula o deslocamento da água branca que carrega a fibra. A água retirada do filtro é então armazenada em sistema fechado com diluição da torre de retenção/latência (NUNES; FERREIRA; PUJOL, 2014).

A penúltima etapa do processo de fabricação de papel envolve a utilização de peróxido alcalino para branquear a polpa. Isto é feito através da introdução de uma solução composta pelos referidos produtos químicos na polpa, imediatamente após sua saída do filtro rotativo e da rosca de polpação. A polpa é então reaquecida com vapor saturado e homogeneizada por passagem por bomba de alta consistência, antes de ser transferida para torres de retenção e armazenamento. A consistência do alvejante na entrada das torres é de aproximadamente 14%, e a polpa é bombeada para cima através das torres, onde é diluída em aproximadamente 4% em suas bases, antes de ser enviada aos tanques que abastecem as máquinas desaguadoras. (CARVALHO; SILVA; SOARES, 2012)

Durante o processo de desidratação, cerca de 4% da suspensão de fibra ou polpa armazenada nos tanques é utilizada para alimentar duas máquinas de desidratação separadas. Essas máquinas consistem em uma caixa de entrada e uma sequência que utiliza pinças de prensagem para formar mantas que são compactadas em paletes.

3.4 PRODUÇÃO DE PAPEL PARA USO PESSOAL

Inicia com o desfibramento da celulose e adição do gel. Após esta etapa, o material é calandrado, colocado sobre o filme de polietileno juntamente com o elástico das pernas. Na parte superior da máquina já está sendo combinado o tecido não tecido (TNT) juntamente com as barreiras antivazamento, elásticos das barreiras e adesivos. Após esta etapa é feito o fechamento com o filme de polietileno fazendo uma espécie de "sanduiche" no painel. A seguir é adicionado as fitas laterais, é realizado o corte das fraldas separando-as uma a uma, a dobra. Após o dobramento a fralda segue para embaladora, onde a mesma separa por quantidade e embala no pacote.

4 ESTUDO DE CASO

Este presente trabalho se refere à avaliação do atendimento à concentração de DBO menor ou igual a 10 mg/L nos efluentes tratados do empreendimento tendo em vista o desenquadramento do corpo receptor nos seus padrões de qualidade, exigência estabelecida no âmbito do licenciamento ambiental, considerando o desenquadramento do corpo receptor nos seus padrões de qualidade sem capacidade de suporte para recebimento de carga poluentes adicionais.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O funcionamento da empresa é de 24 horas por dia, com uma produção média total de 83.823 toneladas papel tissue, 52.367 toneladas de pasta de celulose, BCTMP, e 47.091 toneladas de produtos de Personal Care (fraldas e absorventes).

As maiores contribuições de efluentes da planta são oriundos da fabricação de papel e da fabricação de pasta de celulose. Os efluentes são despejados em uma estação elevatória e a vazão de entrada desse efluente na estação de tratamento é, em média, 350m³/h.

Um aspecto bastante importante é a ocorrência de variação das características e vazão do efluente, que acontece de acordo com a fabricação do dia e demanda de mercado, ou seja, o efluente nunca é estável.

Os compostos organoclorados e os fragmentos da lignina extraídos da polpa de celulose para produção da BCTMP são os principais contribuintes de uma alta carga orgânica do efluente. O efluente com BCTMP possui uma maior DBO, porém é mais biodegradável e a DBO média de entrada no sistema de tratamento é de 1.311mg/L e DQO é de 4.751,6mg/L, com uma relação DQO/DBO de 3,6 ou seja, o efluente possui a fração biodegradável baixa. Na Tabela 1 podemos verificar as concentrações citadas e sua variabilidade das concentrações.

Tabela 1 - Características do efluente bruto: Concentrações médias, referentes à 2023

Meses	DBO média mensal de entrada (mg/L)	DBO máxima mensal	DBO mínima mensal	DQO média mensal de entrada (mg/L)	Relação DQO/DBO
Janeiro	1.786,7	2.110	1.370	4.686,6	2,6
Fevereiro	1.313,6	1.660	475	5.177,1	3,9
Março	1.330	1.660	702	5.161,4	3,9
Abril	1.194,1	1.590	882	5.148,3	4,3
Maio	1.125,9	1.960	342	4.962,5	4,4
Junho	1.252,8	2.170	797	4.735	3,8
Julho	1.065	1.730	481	4.545	4,3
Agosto	803,7	1.890	280	3.628,6	4,5
Setembro	1.558,3	1.880	1.310	5.420	3,5
Outubro	805,9	2.230	141	3.542,9	4,4
Novembro	2.185	2.510	1.860	5.260	2,4

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Uma grande quantidade de sólidos pode ser observada no efluente industrial e a principal contribuição é da fabricação de papel. A quantidade média de entrada na estação de tratamento pode ser verificada na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do efluente bruto: Quantidade de sólidos, referente à 2023

Parâmetros	Média anual referente	Valor máximo anual	Valor mínimo anual
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	312,5	750	66
Sólidos suspensos totais (mg/L)	2.356,4	5.940	572
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	2.045,7	5.050	466
Sólidos suspensos fixos (mg/L)	395,2	1.530	25

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

As temperaturas na entrada do sistema de tratamento são elevadas, em torno de 35°C devido aos processos de fabricação.

4.1.1 Corpo receptor dos efluentes tratados

A captação de água do empreendimento é feita no Rio Juquery (coordenadas: Lat 23°22'8.810" Long 46°45'37.550") e, para utilização no processo industrial, é feito o tratamento de água em uma ETA – Estação de Tratamento de Água. Logo após o uso

e, posterior tratamento do efluente na ETE, é lançado novamente no Rio Juquery (coordenadas: Lat 23°22'27.430" Long 46°25'28.630"). Pontos estes que possuem outorga de nº 6253/2022, junto ao DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica.

O Rio Juquery, localizado no município de Caieiras/SP, é um curso d'água que desempenha um papel crucial na paisagem e na vida da comunidade local. Contudo, sua história é marcada por desafios ambientais que demandam atenção e ação conjunta para preservar e restaurar esse recurso natural essencial.

Em um passado não tão distante, o Rio Juquery sofreu com impactos decorrentes da urbanização e industrialização da região. O crescimento urbano desordenado, aliado à falta de infraestrutura adequada para o tratamento de efluentes, resultou em despejo de poluentes no rio, comprometendo sua qualidade hídrica e ecossistemas associados. De acordo com o Decreto nº 10755/77 o rio é enquadrado como classe 3, ou seja, não possui uma boa qualidade, sendo viável sua utilização apenas após tratamento e com uso um pouco mais restritivo.

No entanto, é imperativo reconhecer que o Rio Juquery também possui potencialidades notáveis. Suas margens abrigam uma diversidade de flora e fauna, contribuindo para a biodiversidade local. Além disso, o rio desempenha um papel fundamental na oferta de recursos hídricos para a comunidade, seja para abastecimento público ou para atividades agrícolas.

As autoridades locais têm papel crucial nesse processo, sendo responsáveis por implementar políticas públicas voltadas para a gestão sustentável do Rio Juquery. Investimentos em sistemas de tratamento de esgoto, fiscalização ambiental e a criação de áreas de preservação são passos essenciais para reverter os danos do passado e assegurar um futuro mais saudável para o rio e suas adjacências.

A recuperação do Rio Juquery demanda esforços conjuntos, envolvendo governos, comunidade local, organizações não governamentais e setor privado. Ações como o reflorestamento das margens, a criação de áreas de proteção permanente e a conscientização contínua sobre práticas sustentáveis são fundamentais para a restauração e preservação desse recurso natural.

Vale ressaltar que a maior parte do município de Caieiras não possui sistema de tratamento de esgoto, ou seja, montante da captação de água o rio e seus afluentes recebem a contribuição de todo o esgoto doméstico do centro e alguns bairros de Caieiras, advindos de áreas residenciais, comerciais e também efluente industrial de empresas do ramo químico (Sintequímica, Corteva, Saint-Gobain), alimentícia (Convenção), papelreira (Jandaia), posto de combustíveis, dentre outras.

A jusante do lançamento do efluente tratado do empreendimento, existe uma vasta área verde, plantio de eucaliptos (Melhoramentos Florestal) e apenas uma empresa de papel Kraft (Ahstrom Munksjo), em um raio aproximado de 2km.

Em 2022, foram realizadas mensalmente análises para verificar a qualidade da água a montante e jusante do lançamento de efluente, cujos resultados estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3 - Características do Rio Juquery à montante e à jusante do lançamento de efluentes

Parâmetros	Montante (média anual)	Jusante (média anual)
DBO (mg/L)	21,8	20
DQO (mg/L)	81,8	94,8
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	0,9	1,1
Temperatura (°C)	21,9	21,8

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

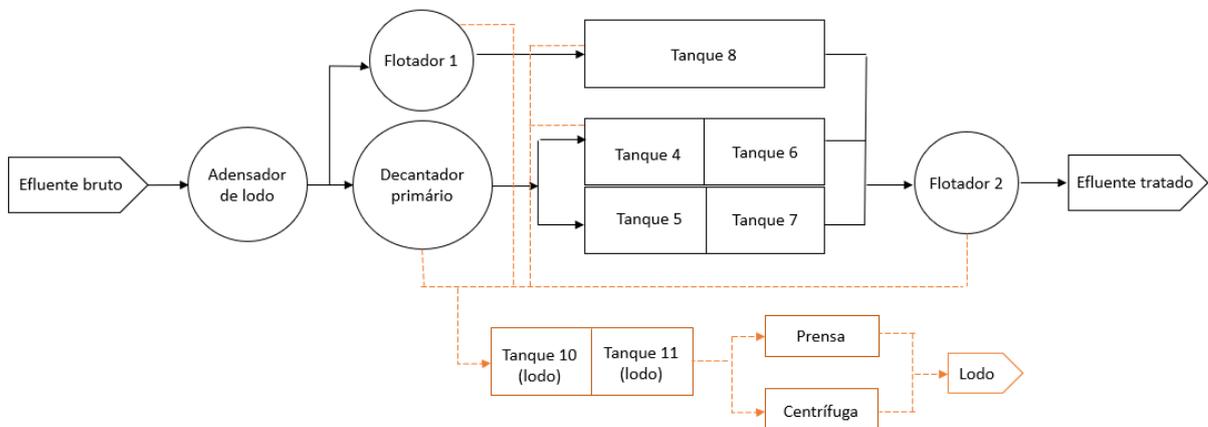
4.2 TRATAMENTO DO EFLUENTES INDUSTRIAL DA EMPRESA

A estação de tratamento de efluentes existente no empreendimento passou por uma grande ampliação para possibilitar o atendimento da concentração de DBO ≤ 10 mg/L nos efluentes tratados. O sistema implantado era do tipo lodos ativados, composto por um sistema de decantação primária e um flotador primário, que atuavam conjuntamente com objetivo de remoção dos sólidos sedimentáveis, seguido de um sistema biológico, com cinco tanques de aeração paralelos e, por final, outro flotador, para polimento e retirada dos sólidos em suspensão do efluente final, antes do lançamento no curso d'água.

Eram adicionados nos Tanques de aeração os nutrientes fósforo e nitrogênio para o tratamento biológico, e polímero, para auxiliar na formação dos flocos que seriam removidos, nos flotadores.

O lodo proveniente dos sistemas de decantação e flotação eram destinados para dois tanques que alimentavam uma centrífuga e uma prensa, para o deságue do lodo e posterior destinação final. O diagrama da ETE antes da ampliação é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama da ETE antes da ampliação



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Com esse modelo de tratamento, antes da ampliação da estação de tratamento de efluentes, alguns dos resultados de DBO podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Efluente bruto e tratado

Meses	DBO bruta (mg/L)	DBO tratada (mg/L)	Eficiência (%)
Janeiro/21	1.192,6	90	93
Julho/21	1.017,1	68	92
Agosto/21	1.072,8	79	92
Setembro/21	1.511,5	85	95
Novembro/21	1.442,9	62	96
Dezembro/21	1.077,9	100	91
Janeiro/22	1.237,5	157	86
Abril/22	1.800	235	97
Mai/22	1.570	96	89

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

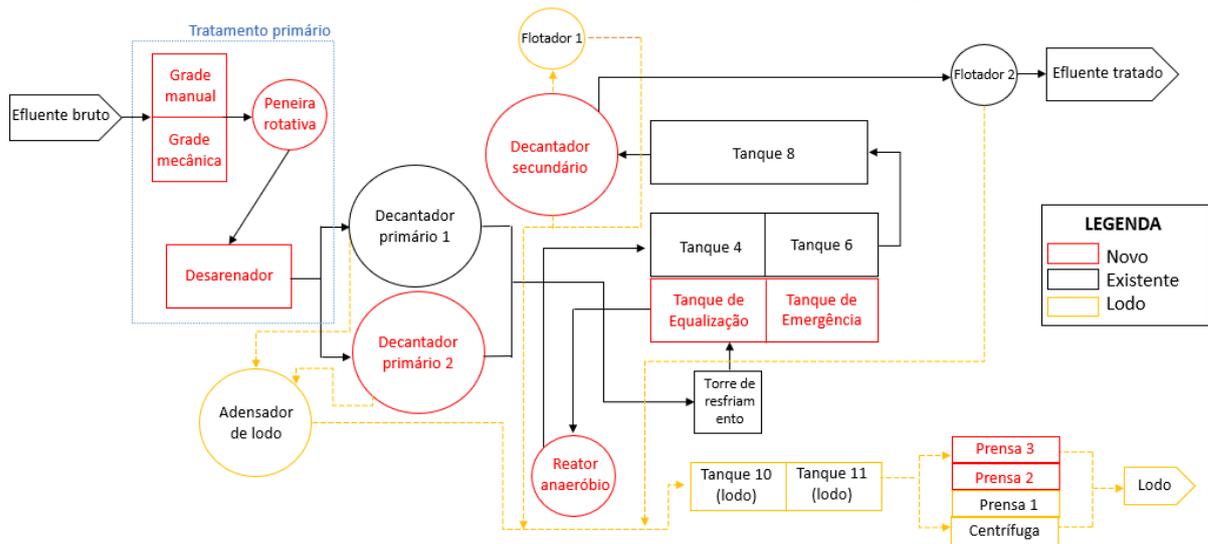
Os resultados acima reforçam que o sistema existente, por vários meses, não conseguia atingir os 60mg/L de DBO, mesmo com uma boa eficiência, tão pouco conseguiria atingir os 10mg/L de efluente tratado sem avançar no seu grau de tratamento, sendo assim, foi projetado uma ampliação da estação de tratamento e reforma dos equipamentos existentes. As principais alterações introduzidas foram:

- Reator Anaeróbio para 100% da vazão de efluentes;
- Utilização de dois tanques existentes como de Equalização e de Emergência;
- Duas novas desaguadoras dos lodos misturados;
- Sistema de gradeamento na estação elevatória;
- Novo decantador primário;
- Decantador secundário;
- Desarenador;
- Peneira com tambor rotativo;
- Nova torre de resfriamento.

O maior impacto no novo sistema, como um todo, e aquele que mais contribui para a redução de carga orgânica, é a implantação do tratamento anaeróbico para 100% da vazão de efluentes. A carga remanescente que vai para o tratamento aeróbico reduziu-se, não exigindo mais a utilização de todos os tanques de aeração existentes, viabilizando a utilização de parte deles (TQ05 e TQ07) para fins de Equalização/Emergência, portanto parte do sistema aeróbico foi convertido para um sistema de lodos ativados de baixa carga (aeração prolongada).

Segue na Figura 3 o novo layout da estação de tratamento, que está em operação desde dezembro/2022, e a seguir um descritivo do sistema atual de tratamento, por etapas: Física, Físico-químico e Biológica.

Figura 3 – Diagrama da ETE após a ampliação



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.1 Processos físicos

4.2.1.1 Gradeamento

A fim de melhorar a operacionalidade das bombas da estação elevatória, foi instalado um sistema de pré-tratamento, para remoção dos sólidos grosseiros. Os Equipamentos instalados foram: Grade mecânica de barras com sistema de limpeza automática, com abertura de 12milímetros e grade de limpeza manual no canal de by-pass com 50milímetros.

Figura 4 - Gradeamento



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.1.2 Peneiramento

Ainda no pré-tratamento, foi instalada uma peneira mecânica, com um tambor rotativo de abertura de 6 milímetros, ou seja, todo o sólido que não foi removido no sistema de gradeamento é contido nessa etapa.

Figura 5 - Peneiramento



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.1.3 Desarenação

A caixa de areia tipo vórtice foi instalada com a finalidade de remoção de partículas sólidas finas presentes no efluente, através de um classificador tipo parafuso.

Figura 6 - Desarenação



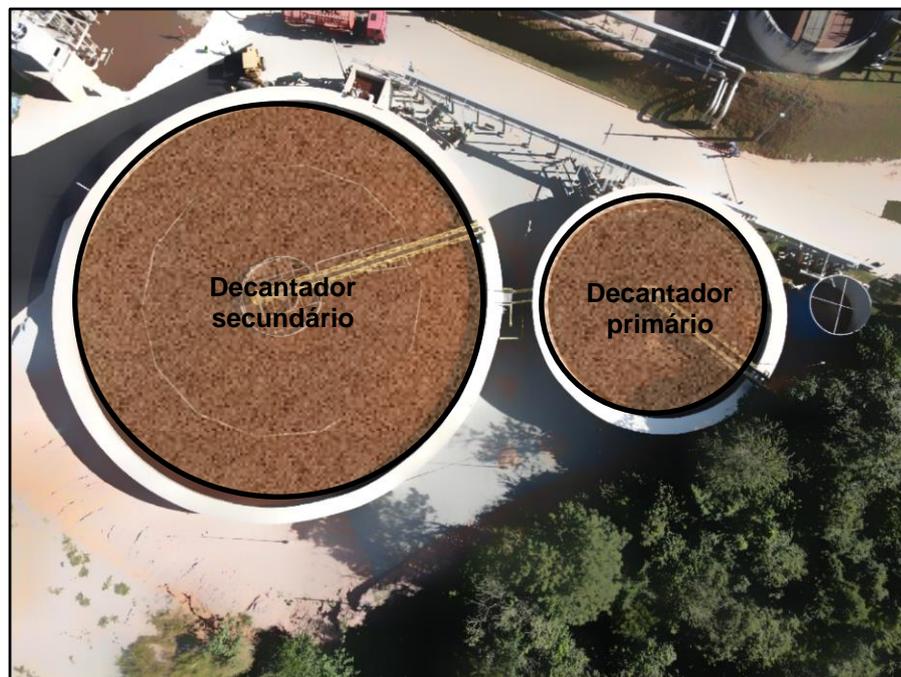
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.1.4 Decantação primária e secundária

Nesta etapa inicia-se o tratamento primário, através de dois decantadores primários, um já existente com 23 metros de diâmetro e capacidade de 1.450m³ e instalação de um novo decantador de 19 metros de diâmetro.

Também foi incluso no sistema de tratamento um decantador secundário, de 36 metros de diâmetro, que atua no tratamento secundário, após o lodos ativados.

Figura 7 - Decantadores



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.1.5 Torres de resfriamento

Após a decantação, o efluente segue para duas torres de resfriamento, as quais tem o objetivo de baixar a temperatura média de entrada de 40°C para 35°C.

Figura 8 - Torres de resfriamento

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.1.6 Tanque de equalização e emergência

Os Tanques 5 e 7, com capacidade de 1.630 m³ e 1 424 m³, respectivamente, eram parte do sistema aeróbio, passaram a funcionar como Tanque de Equalização (Tanque 5), com um tempo de retenção de 3 horas, visando homogenizar o efluente recebido da fábrica, facilitando os recursos para lidar com a variação de qualidade do efluente (DBO, DQO, pH, condutividade, sólidos, etc). Além disso, o sistema estará preparado para ação de amortecimento de variação curtas de vazão e em momentos de pico de vazão, podendo desviar o excesso de efluente para o Tanque de Emergência (Tanque 7), reservar, com tempo de retenção de 2,6 horas, e retornar ao sistema, sendo dosado adequadamente.

Figura 9 - Tanque de Equalização e Emergência



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.2 Processos biológicos

4.2.2.1 Tratamento anaeróbio

Os efluentes equalizados no tratamento primário são enviados por bombas centrífugas para o novo tanque de condicionamento onde são dosados os nutrientes: Nitrofos (N) e hidróxido de sódio (NaOH), para controle do pH ideal para o processo anaeróbio. O Reator Anaeróbio de Circulação Interna (IC) recebe águas residuais pré-tratadas, ajustadas a um nível de pH ideal e enriquecidas com nutrientes para transformação biológica.

O reator IC é composto por um tanque circular medindo 24 metros de diâmetro. Este tanque foi dividido em duas áreas distintas com a finalidade de converter biologicamente o efluente. A zona de tratamento inferior consiste em lama granulada na forma expandida ou fluidizada. Esta zona foi projetada para mistura completa e é caracterizada por altas velocidades de líquido que fluem para cima. Essas velocidades são geradas pelo efluente alimentado no reator e pelo fluxo reciclado internamente. O fluxo de reciclagem é produzido pelo biogás coletado. O biogás foi

separado no primeiro separador, que é instalado na porção central do reator através do método "gas-lift". Este processo puxa a mistura efluente/lodo granulado para o topo do reator, onde está situado o tanque de armazenamento. A fase líquida é separada do biogás e automaticamente reciclada por gravidade para o fundo do reator. Aqui ele é misturado de forma eficiente com o efluente pré-acidificado que entra no processo.

O fluxo de reciclagem na zona inferior do reator gera um estado de fluidização que melhora o contato entre o efluente e a biomassa anaeróbia, levando a uma maior taxa de geração de biogás. Este nível de otimização supera o observado no reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB). Vale a pena notar que a maior parte da conversão de matéria orgânica poluente em biogás, aproximadamente 80-90%, ocorre nesta zona inferior do Reator IC.

O biogás gerado serve um propósito específico ao criar um efeito de "gas-lift" que facilita a recirculação interna. Este processo é contido e não interfere na seção superior do reator, nem resulta no transporte indesejado de lodo anaeróbico.

Como resultado do mecanismo de "gas-lift", o fluxo de efluente reciclado fica confinado à seção inferior do reator. Esta operação permite que a porção superior mantenha um ambiente hidráulico sereno, o que, por sua vez, permite que o lodo anaeróbio permaneça dentro do sistema.

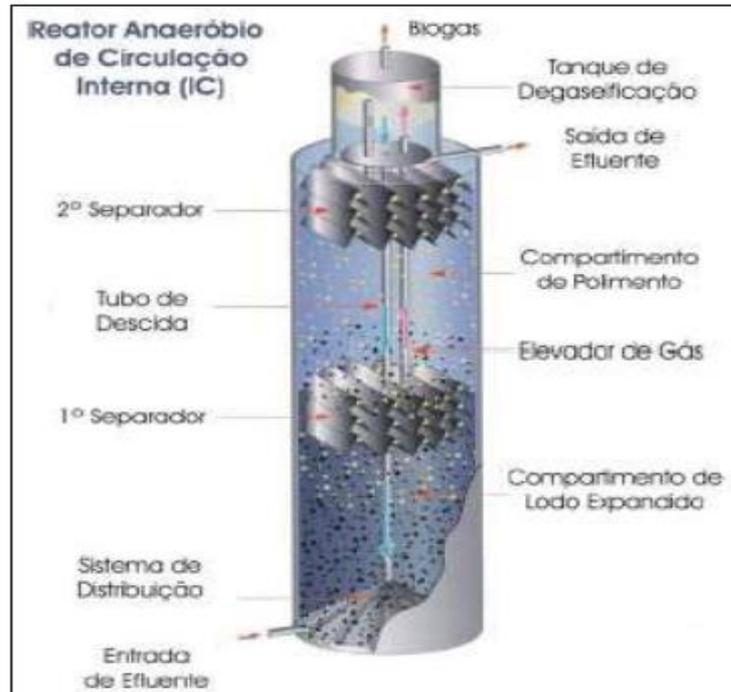
A parte superior do reator abriga um separador modulado, que serve para capturar uma pequena fração do biogás produzido na zona superior. Além disso, o separador também capta todo o volume de efluente tratado que flui pelo sistema.

O Reator é equipado ao longo de sua altura com um conjunto de cinco pontos de coleta de amostra, a serem destinadas à avaliação físico-químicas de interesse no controle do processo.

O biogás produzido é conduzido ao gasômetro pressurizador daí para queima no Flare com controle automático de chama.

O efluente tratado no Reator Anaeróbio IC irá, por gravidade, ao pós-tratamento aeróbio (lodos ativados existentes) para complementação do tratamento/adequação às exigências do órgão de controle ambiental.

Figura 10 - Reator Anaeróbio IC



Fonte: Dias (2019)

Antes da implantação do reator anaeróbio, foi realizado teste para avaliar a potencialidade do sistema anaeróbio quando a sua eficiência de remoção da matéria orgânica e produção de biogás e concluiu-se que o efluente possuía um bom índice de biodegradabilidade, acima de 70%. O reator anaeróbio foi projetado para remoção de até 80% da DBO e remoção de até 65% de DQO.

Figura 11 - Tratamento anaeróbio

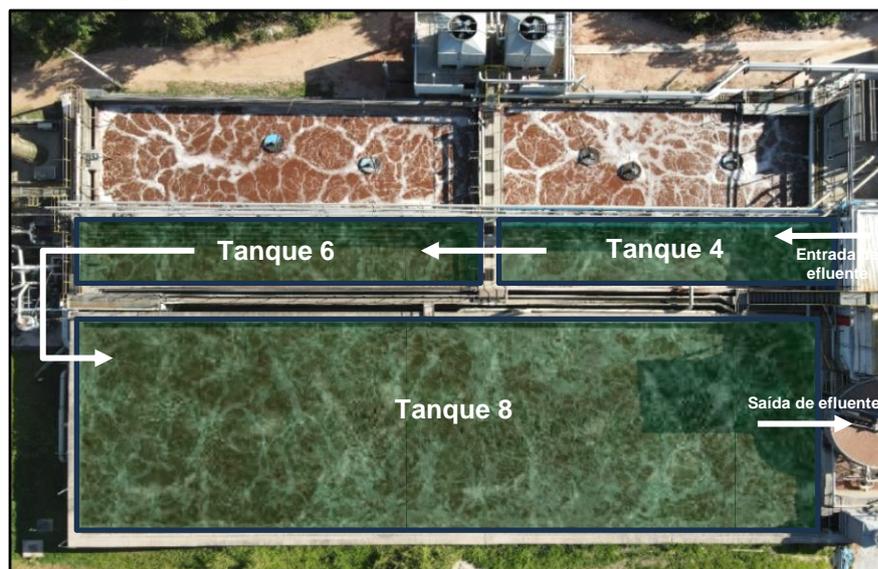


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.2.2 Tratamento aeróbio (lodos ativados)

O tratamento secundário existente foi convertido a um sistema de lodos ativados por aeração prolongada, contendo 3 tanques aeróbios sequenciais. A inversão de fluxo geral pelos reatores, passou a ser: Anaeróbico → Tanque 4 → Tanque 6 → Tanque 8 → Saída para Decantador Secundário.

Figura 12 - Tratamento aeróbio (lodos ativados)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.3 Processos físico-químicos

4.2.3.1 Floculação

Como recurso para polimento do efluente secundário será utilizado o flotador por ar dissolvido (DAF), com dosagem de polímero.

4.2.3.2 Adensamento

Os lodos são removidos continuamente dos decantadores e flotadores e enviados ao adensador de lodo, já existente, cujo sobrenadante retorna à entrada da ETE. Sua capacidade é de 330 m³ e 11 metros de diâmetro.

Figura 13 - Adensamento



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.3.3 Desague

O desague dos lodos primário, secundário e terciário é realizado através de três prensas e uma centrífuga, que são movimentados por esteiras até as caçambas de lodo e destinação final do resíduo.

Figura 14 - Desague



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A preservação da qualidade dos recursos hídricos é uma preocupação constante na gestão ambiental, refletida nas normativas estabelecidas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para o lançamento de efluentes líquidos, esta em particular de DBO com até 10 mg/L.

O Rio Juquery, identificado como um corpo receptor de Classe 3, é caracterizado por uma qualidade inadequada. Conforme estipulado no artigo 12º do Decreto Estadual 8468/76, em corpos d'água de Classe 3, é proibido o despejo de efluentes, mesmo após tratamento, que possa prejudicar a qualidade do rio devido a alterações nos parâmetros especificados. O § 4º desse artigo enfatiza que a CETESB pode conceder autorização para o despejo com base em estudos de impacto ambiental conduzidos pela entidade emissora, estabelecendo o tipo de tratamento e as condições associadas a essa liberação.

Nesse mesmo contexto, a Decisão de Diretoria 134/2020/C/I, de 21 de dezembro de 2020, que dispõe sobre os procedimentos para o controle de efluentes líquidos provenientes de fontes de poluição licenciáveis pela CETESB na Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 6 – Alto Tietê, na qual o Rio Juquery está inserido, estipula que em casos de lançamento em corpo receptor classificado como Classe 3, e cuja qualidade real não atenda aos padrões definidos pela legislação estadual e federal, os efluentes líquidos devem apresentar características iguais ou superiores aos padrões de qualidade do corpo receptor, especialmente nos parâmetros que levam à desclassificação do corpo d'água.

A pesquisa às licenças ambientais de empresas do ramo de papel e celulose revela uma consistência nas exigências, com ênfase no tratamento adequado dos efluentes para cumprir os padrões definidos nas legislações estaduais e federais.

Para cumprir com a exigência proposta, a implantação das modificações no sistema de tratamento de efluentes existente teve início no ano de 2021 e foi concluída em dezembro de 2022. Nesse período foram realizadas amostragens no âmbito do

monitoramento da estação de tratamento, cujos resultados para os parâmetros DBO, DQO e Sólidos Sedimentáveis nos efluentes tratados estão apresentados na tabela de monitoramento apresentada a seguir.

Tabela 5 - Histórico do monitoramento da ETE (continua)

Ano	Meses	DBO efluente bruto (mg/L)	Média anual	DBO efluente tratado (mg/L)	Média anual	Eficiência DBO (%)	Média anual	DQO efluente tratado (mg/L)	Média anual	Sólidos Sedimentáveis efluente tratado (ml/L)	Média anual
2021	Janeiro	1.192,6		90		93		867		0,3	
	Fevereiro	868,8		39		93		779		1,7	
	Março	1.373		35		97		621		0,3	
	Abril	1.380,8		27		97		557		0,3	
	Maio	924,5		45		90		679		0,3	
	Junho	1.118,3	1.194	52	60,5	94	93,8	764	766,3	0,3	0,5
	Julho	1.017,1		68		92		769		0,3	
	Agosto	1.072,8		79		92		954		0,8	
	Setembro	1.511,5		85		95		905		0,3	
	Outubro	1.253,5		44		96		750		0,3	
	Novembro	1.442,9		62		96		890		0,3	
	Dezembro	1.077,9		100		91		650		0,4	
2022	Janeiro	1.237,5		157		86		972		19	
	Fevereiro	1.218,2		58		95		655		0,3	
	Março	1.483,3		51		97		603		0,3	
	Abril	1.800		235		84		969		0,4	
	Maio	1.570		96		89		1095		0,3	
	Junho	1.238,4		52		95		679		0,5	
	Julho(*)	1.290,6	1.402,4	35	67,9	97	94,4	643	638,8	0,5	1,9
	Agosto	1.646,2		28		99		390		0,5	
	Setembro	1.489,7		51		96		602		0,3	
	Outubro	1.525		38		97		699		0,3	
	Novembro	1.458,3		9		99		202		0,3	
	Dezembro	1.055		5		99		157		0,4	

Tabela 5 - Histórico do monitoramento da ETE (conclusão)

2023	Janeiro	1.786,7		4	99		143		0,3		
	Fevereiro	1.313,6		14	99		212		0,3		
	Março	1.330		10	99		160		0,3		
	Abril	1.194,1		10	99		200		0,8		
	Maio (**)	1.125,9		14	99		215		0,3		
	Junho	1.252,8		5	99		182		0,3		
	Julho	1.065	1.151	7	6,8	99	99	152	151	0,3	0,3
	Agosto	803,7		8		99		159		0,3	
	Setembro (***)	1.558,3									
	Outubro	805,9		3		99		127		0,3	
	Novembro	1.134,5		3		98		132		0,3	
	Dezembro	443		3		99		130		0,3	

(*) Em Julho/23 passamos a coletar análises 2x/semana

(**) Em maio/23 foi emitida a licença ambiental com a exigência de 10mg/L

(***) Tivemos problemas com o laboratório externo

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A partir dos dados acima, podemos concluir:

Em 2021 e 2022, apesar de a estação de tratamento atender a legislação quanto a eficiência de remoção de DBO (<80%), podemos verificar que a DBO constantemente ultrapassavam os 60mg/L, ou seja, a meta de <10mg/L se mostrava bastante difícil de ser atingida, tendo em vista que o sistema de tratamento antigo operava com uma ótima eficiência (93,8 e 94,4%) e, mesmo assim, não conseguia garantir uma baixa DBO.

Conseguimos observar uma redução de cerca de 75% da DQO se comparado 2023 aos anos anteriores. Podemos atribuir grande parte desse bom resultado ao reator anaeróbio, que foi projetado para uma redução de 65% de remoção de DQO. Cabe ressaltar que devido à falta de lodo de inóculo para venda no mercado, a partida do reator anaeróbio foi iniciada em julho/2022 e finalizada em setembro/2022, portanto nos meses seguintes conseguimos verificar uma melhora nos resultados, indicando

que após passar por uma rampa de aumento de vazão e adaptação da biota, finalmente atingiu a eficiência para o qual foi projetado.

Com a implantação dos novos dois decantadores (primário e secundário), podemos verificar que não tivemos em 2023 desvios quanto ao parâmetro de sólidos sedimentáveis, ou seja, o sistema se mostra bastante eficiente para a remoção dos sólidos e isso contribui para clarificação do efluente.

Apesar da tabela 5 mostrar apenas a média mensal, vale destacar que conseguimos atingir nos últimos meses resultado como 2,1mg/L de DBO, ou seja, melhor do que o esperado, abaixo do limite estabelecido no licenciamento ambiental.

Analisando também os resultados apresentados na Tabela 3, podemos concluir que o efluente industrial não mostrou um impacto significativo no curso d'água, que manteve os parâmetros similares a montante e jusante. Também não podemos afirmar que qualquer variação advém deste lançamento em específico, tendo em vista as contribuições à montante e que as condições climáticas podem também interferir em alguns parâmetros, como por exemplo, a chuva, que aumenta a quantidade de sólidos no rio.

No que diz respeito a contribuição ao meio ambiente, o efluente que está sendo lançado atualmente possui uma melhor qualidade do que a água do próprio Rio Juquery, ou seja, a empresa está captando uma água de qualidade inferior à do seu efluente tratado. O que é algo positivo, pois a empresa está iniciando estudos para reutilização do seu efluente, podendo ter um sistema fechado de água, trazendo uma maior economia e melhor gestão de recursos hídricos.

Alguns desafios foram enfrentados no decorrer do projeto e comissionamento da estação, como a adequação da microbiologia do sistema de lodos ativados, que devido a tantas alterações, mudanças de fluxos, o tratamento aeróbio foi bastante impactado, gerando incômodos à vizinhança. Questão essa sanada quando da estabilização do sistema como um todo e com constantes reuniões e visitas da comunidade do entorno para compreensão da importância do projeto.

Um outro desafio foi a ausência de lodo com as especificações adequadas no mercado brasileiro para inoculação no reator anaeróbio, ressaltando que trata-se do maior reator anaeróbio da América Latina, ou seja, necessita de uma quantidade significativa de lodo.

Considerado também que o sistema leva um determinado tempo para desenvolver uma massa microbiana adaptada as características particulares do efluente a ser tratado, sendo assim, o comissionamento foi executado em etapas, primeiramente, com uma vazão mínima aceitável e com análises criteriosas de resposta e eficiência do sistema.

Atualmente, novos desafios estão sendo adotados pela empresa para melhorar ainda mais o efluente lançado no Rio Juquery. Na medida que ocorre a recuperação da qualidade das águas do rio e o processo de tratamento se mostra mais estável e eficiente, torna-se viável a redução no parâmetro de cor.

6 CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo, tornou-se evidente a significativa importância das indústrias de papel e celulose brasileiras e seu vínculo direto com o meio ambiente, mais especificamente, com a geração de efluentes industriais e domésticos, havendo assim a necessidade constante de desenvolver novas técnicas de tratamento. Essas iniciativas são essenciais para garantir condições sustentáveis no futuro e, não apenas fortalecem a responsabilidade ambiental do setor, mas, também contribuem para a preservação de recursos naturais e a promoção de práticas industriais mais sustentáveis.

A avaliação da exigência técnica da CETESB para lançamento de DBO até 10 mg/l demonstra um cenário regulatório desafiador, requerendo da empresa não apenas conformidade legal, mas também a adoção de tecnologias viáveis e acessíveis para o tratamento de efluentes. Acrescentado a um alto grau de dificuldade devido a variação significativa de carga orgânica e distintas características de efluente. Ainda assim, o sistema implantado tem se mostrado bastante estável, com resultados em conformidade e até melhores do que o estabelecido pelo órgão ambiental, ou seja, um resultado bastante satisfatório e que pode servir de modelo para outras empresas que buscam uma melhora na qualidade de seus efluentes.

Como ponto de atenção, por se tratar de uma exigência bastante restritiva, devemos ter ciência que vários são os fatores que, podem levar a desvios na DBO do efluente tratado e ainda há um longo caminho a ser percorrido para entendimento operacional e dos entraves que possam surgir. Para que isso não ocorra, faz-se necessário uma equipe técnica qualificada e monitoramentos constantes em todas as etapas do tratamento de efluente, buscando sempre manter o sistema com uma ótima eficiência, como vem sendo feito.

Deste modo, frente aos resultados obtidos na estação de tratamento de efluentes, podemos concluir que o objetivo inicial proposto pelo órgão ambiental é passível de atendimento e traz diversos ganhos à empresa, como a possibilidade de reutilização do efluente e contribuir para uma melhora no corpo hídrico e meio ambiente, de forma geral, do entorno.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. C. et al. Análise microbiológica e parasitológica da água utilizada em hospital público do interior do estado de Rondônia. **Revista Uningá**, v. 49, n. 1, p. 40-45, 2016.
- ANTUNES, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160-165, 2018.
- ARAÚJO, KS de et al. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais e efluentes industriais. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2014.
- AUGUSTO, Vagney Aparecido; CAMPOS, José Elói Guimarães. **Domínios Hidrogeoclimáticos no Semiárido Brasileiro, Estado da Bahia: Unidades Base para Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/36253/pdf>. Acesso em: 10 de nov. de 2023.
- BARROS, L. S. S.; CRUZ, C. R. da.; SILVA, V. C. Qualidade das águas de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 668 – 676, 2015.
- BELTRAME, T. F., et al. Wastewater, solid waste and environmental education: a discussion about the subject. **Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental**, v.20, n.1, p.283–294, 2016.
- BERNARDO, Samara pinto Custódio. **Avaliação da Suscetibilidade a Antimicrobianos e Formação de Biofilmes em Pseudomonas aeruginosa Isoladas de Água Mineral**. 2019. 52 f. p., il., tab. Dissertação mestrado, (Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária) – Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2009.
- BIAZUS, A., HORA, A. B. D., & LEITE, B. G. P. Panorama de Mercado: Celulose. **BNDES Setorial**, v.32, p.311-370, 2010.
- BNDES. **BNDES 60 anos: Perspectivas Setoriais**. BNDES: Rio de Janeiro.2012. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/933> Acesso em: 10 de nov. de 2023.
- BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Informações gerais sobre o setor 2007**. 2008. Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7749/Bracelpa-Relatorio_Estatistico_Florestal-2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 10 de nov. de 2023.
- BRASIL. **Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá

outras providências. Disponível em:

https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, 16 mai. 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770> . Acesso em: 10 de nov. de 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 54, de 15 de junho de 2015. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Água mineral natural e água natural. 2000. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2000/54_00rdc.htm. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

CAMPOS, E. S. **Curso de fabricação de papéis “tissue”**. Apostila ABTCP, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/33461834-Curso-de-fabricacao-de-papeis-tissue-instrutor-edison-da-silva-campos.html> Acesso em: 10 de nov. de 2023.

CARVALHO, Kaio Henrique Adame de; SILVA, Márcio Lopes da; SOARES, Naisy Silva. Efeito da área e da produtividade na produção de celulose no Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, p. 1119-1128, 2012.

DA SILVA, Cristiane Lucietto; SERPA, Elaine Cristina de Sousa Neves; GRANDO, Mara Lúcia. EFLUENTES INDUSTRIAIS PROVENIENTES DE UMA EMPRESA BENEFICIADORA DE MADEIRA. **Anais de Engenharia Química**, v. 1, n. 1, p. 79-89, 2022.

DE OLIVEIRA, Lourenço Algemiro; HENKES, Jairo Afonso. Poluição hídrica: poluição industrial no Rio dos Sinos-RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 186-221, 2013.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. Oficina de textos, 2016.

DIAS, Oriane; SIMONELLI, George. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

DIAS, Nivaldo. **Experience in the Ethanol Industry**. 2019. Disponível em: http://www.stab.org.br/vinhaca_2019/paques_2019_v20190930.pdf Acesso em: 10 de nov. de 2023.

FOELKEL, Celso. **Reciclagem de Papéis Contendo Fibras Longas de Pinus**. Pinusletter, Porto Alegre, v. 1, n. 41, p.1-26, jan. 2014. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/>. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

GALLO, C.R.M. **Curso básico sobre fabricação de papel Tissue**. Apostila ABCTP, 2014.

HASEENA, Mehtab et al. Water pollution and human health. **Environmental Risk Assessment and Remediation**, v. 1, n. 3, 2017.

HALDER, Joshua Nizel; ISLAM, M. Nazrul. Water pollution and its impact on the human health. **Journal of environment and human**, v. 2, n. 1, p. 36-46, 2015.

HORTAL, J. **Fibras papeleras**. UPC, Barcelona, Spain. 2007. 224p.

IBÁ. **Relatório 2019**. IBÁ: São Paulo, 2020.

JASECHKO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. 3. ed. Campinas, São Paulo: Átomo 2019.

JAYASWAL, Komal; SAHU, Veerendra; GURJAR, B. R. Water pollution, human health and remediation. **Water remediation**, p. 11-27, 2018.

KASHIF, Muhammad. **Small capacity 30 M.tons Crescent Former Tissue Paper Machine used Available for sale**. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/small-capacity-30-mtons-crescent-former-tissue-paper-machine-kashif> Acesso em: 10 de nov. de 2023.

LAGE, E. D. S.; JÚNIOR, J. M. dos S. **Contaminação das águas do lençol freático por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e monitoramento por imagens de satélite na bacia do Araripe, região do Cariri – CE/Brasil**. 2016. 54 fls. Monografia (Curso de Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

LOPES, C. R. A.; CONTADOR, C. R. **Análise da indústria de papel e celulose no Brasil**. In: Congresso de Administração COPPEAD/UFRJ, 7o, 1998, Rio de Janeiro – RJ. Anais eletrônicos, 1998. Disponível em: <http://www.geocities.com/Eureka/Enterprises/1900/> . Acesso em: 10 de nov. de 2023.

MARCONDES, J. G. **Tratamento de Efluentes**. TCC. 49f. Instituto Municipal de Ensino superior de Assis – Fundação Nacional do Município de Assis. Assis 2012.

MOOK, W.G. 2012. **The reconstruction of the initial ¹⁴C content of groundwater from the chemical and isotopic composition on radiocarbon dating, vol. 1**. Royal Society of New Zealand, Wellington, p 342-352.

MOKARRAM, Marzieh; SABER, Ali; SHEYKHI, Vahideh. Effects of heavy metal contamination on river water quality due to release of industrial effluents. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 123380, 2020.

MONTEBELLO, Adriana Estela Sanjuan; BACHA, Carlos José Caetano. Impactos da reestruturação do setor de celulose e papel no Brasil sobre o desempenho de suas indústrias. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 43, p. 109-137, 2013.

MONTEBELLO, Adriana Estela Sanjuan; BACHA, Carlos José Caetano. O setor de celulose e papel na economia brasileira. **O Papel**, v. 72, n. 4, p. 47-50, 2011.

MORAD, S. 2013. **Influência de atividades antrópicas na qualidade das águas da Bacia hidrográfica do Rio Salitre**. Worden, R.H., Morad, S. (Eds.), Clay Mineral Cement in Sandstones. Int. Assoc. Sediment. 34:63–91.

NUNES, Tiago Filipe Gomes; FERREIRA, Paulo J.; PUJOL, Pere M. Produção, caracterização e aplicação de nanofibras de celulose. **Universidade de Coimbra, Coimbra**, 2014.

PEREIRA, T. de S. **Biodisponibilidade de metais no estuário do Rio Paraguaçu, Baía de Todos os Santos, Bahia**. 2014. 91 fls. Monografia (Curso de Oceanografia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

PERPETUO, Elen Aquino. Parâmetros de caracterização da qualidade das águas e efluentes industriais. **São Paulo: CEPEMA-USP**, v. 1, p. 90, 2014.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel - estudo de caso**. Tese da Universidade de São Paulo (USP), 2003.

RIOS, Israel Henrique Ribeiro; RABELO, Jorge Luiz. **Estudo do risco de contaminação de aquíferos de sub-bacias baianas**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i2.30054>. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

ROBERT, N. T. F. **Produção de embalagem de papel**. Dossiê Técnico, Serviço Brasileiro de respostas técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

ROCHA, E. C.; CANTO, J. L.; PEREIRA, P. C. Avaliação de Impactos Ambientais nos Países do Mercosul. **Ambiente & Sociedade**, v.8, n. 2, 2005.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre o controle e a prevenção da poluição do meio ambiente. São Paulo, 1976. Com alterações posteriores. Originalmente publicado no Diário Oficial [do] Estado de São Paulo, Poder Executivo, v. 86, n. 171, 9 set. 1976. p.4-18. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=62153>. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

SARAIVA, F.; CAPO, P. **Papéis Tissue**: Em busca de uma identificação necessária. **O Papel**, São Paulo, ano LXIV nº 03, p. 61-71, março, 2003.

SILVA, Sabrina V S. et al. O impacto da poluição da água nas espécies de peixes da região sudeste de Goiás, Brasil. **Revista de Toxicologia e Saúde Ambiental, Parte A**, v. 79, n. 1, pág. 8-16, 2016.

SINGH, M. Romeo; GUPTA, Asha. Water pollution-sources, effects and control. **Centre for Biodiversity, Department of Botany, Nagaland University**, p. 1-16, 2016.

SOUZA, M. do C. F. B. **Aspectos hidrodinâmicos e qualidade das águas subterrâneas nas sub-bacias do Rio Verde Grande, Jequitai e Pacuí – MG.** 2013. 179 fls. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

TURNELL, Mariana Vieira; CRISPIM, Maria Cristina Basílio. Análise dos impactos socioambientais pelo lançamento de efluentes industriais no Rio Gramame–Paraíba, Brasil. **Revista Gaia Scientia**, 2014.