

EFICIÊNCIA DE SISTEMA INTEGRADO MBBR-LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CELULOSE KRAFT: UM ESTUDO DE CASO

Micaela Piccoli Terres¹

Ismarley Lage Horta Moraes²

¹ CMPC Brasil, Porto Alegre-RS, Brasil

² Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, Brasil

RESUMO

O setor de celulose kraft apresenta elevada relevância econômica no cenário industrial brasileiro, mas também se caracteriza pela geração de grandes volumes de efluentes líquidos com elevada carga orgânica, sólidos suspensos e compostos recalcitrantes, demandando sistemas de tratamento eficientes e controle operacional contínuo. Este estudo analisou o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais em corpos receptores por meio de um estudo de caso realizado em uma indústria de celulose kraft localizada no sul do Brasil, considerando a legislação ambiental aplicável e os parâmetros operacionais da estação de tratamento de efluentes (ETE). A pesquisa adotou abordagem qualitativa e aplicada, com base em acompanhamento operacional da planta, observações técnicas in loco e análise de dados operacionais referentes ao período de janeiro a dezembro de 2024. Foram avaliados parâmetros físico-químicos, biológicos e operacionais do efluente bruto e tratado frente aos limites da Licença de Operação e das Resoluções CONAMA n.º 430/2011 e CONSEMA n.º 355/2017. O afluente à ETE apresentou concentrações médias de 1.063,09 mg(O₂)/L de DQO e 483,89 mg(O₂)/L de DBO₅. O tratamento secundário, composto por reatores MBBR associados a lodos ativados, alcançou eficiências médias de remoção de 77,2% para DQO, 80,7% para sólidos suspensos totais e 52,2% para cor. O sistema biológico apresentou estabilidade ao longo do período, evidenciada pela redução do índice volumétrico do lodo de 135 para 92 mL/g e pela manutenção da concentração média de oxigênio dissolvido em 2,4 mg(O₂)/L. O efluente tratado apresentou médias anuais de 2,13 mg(O₂)/L de DBO₅ (limite legal: 36 mg/L), 80,62 mg(O₂)/L de DQO (limite: 140 mg/L) e 9,25 mg/L de SST (limite: 46 mg/L), valores substancialmente inferiores aos padrões estabelecidos, sem registro de ultrapassagens dos limites de emissão ao longo do período monitorado. Os resultados evidenciam a efetividade da integração entre processos físico-químicos e biológicos, associada ao monitoramento contínuo, para garantir a conformidade ambiental no setor de celulose kraft.

Palavras-chave: efluentes líquidos; celulose kraft; tratamento de efluentes; lodos ativados; MBBR.

INTRODUÇÃO

A indústria de celulose kraft ocupa posição de destaque na economia brasileira, mas seu processo produtivo – que envolve cozimento alcalino da madeira, lavagem, branqueamento e um circuito de recuperação química e energética – é intrinsecamente associado ao uso intensivo de água e à geração de grandes volumes de efluentes líquidos (Bajpai, 2018; Bender *et al.*, 2019). Esses efluentes apresentam elevada complexidade físico-química, com carga orgânica expressa por DQO e DBO₅, sólidos suspensos, compostos lignínicos dissolvidos e, em menor grau desde a consolidação do branqueamento livre de cloro elementar (ECF), compostos organoclorados (AOX) (BAJPAI, 2018).

O controle desses efluentes é regulado no Brasil por um arcabouço normativo que combina instrumentos federais e estaduais: a Resolução CONAMA n.º 430/2011 estabelece condições e padrões gerais de lançamento, complementada, no Rio Grande do Sul, pela Resolução CONSEMA n.º 355/2017, que define limites específicos por faixa de vazão. A operacionalização desse controle cabe à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), responsável pelo licenciamento ambiental das atividades industriais no estado.

Para atender a esse conjunto de exigências, as estações de tratamento de efluentes (ETE) do setor evoluíram para sistemas integrados, combinando tratamento físico-químico (decantação, neutralização, flotação) e biológico, frequentemente associando reatores de biofilme móvel (Moving Bed Biofilm Reactor, MBBR) a sistemas de lodos ativados, de forma a aumentar a resiliência frente às oscilações de carga e vazão típicas do processo kraft (ØDEGAARD, 2006; Bajpai, 2018).

Apesar da disponibilidade dessas tecnologias, a literatura carece de estudos de caso que documentem, de forma integrada, o desempenho operacional real de ETEs industriais de grande porte ao longo de um ciclo anual completo, relacionando parâmetros de processo biológico (SVI, SSV/SST, OD, F/M, idade do lodo) à conformidade legal efetivamente obtida. Esse tipo de análise permite identificar boas práticas operacionais e oportunidades de melhoria replicáveis em outras unidades do setor.

Este trabalho teve como objetivo analisar o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais em corpos receptores, por meio de um estudo de caso em uma indústria de celulose kraft localizada na região sul do Brasil, descrevendo o sistema de tratamento empregado, verificando a conformidade do efluente tratado com a legislação ambiental aplicável e discutindo a efetividade do sistema à luz da literatura técnica.

METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, desenvolvido a partir da análise técnica de uma das estações de tratamento de efluentes (ETE) de uma unidade industrial de celulose branqueada localizada no Rio Grande do Sul. A unidade opera duas ETEs, uma mais antiga, aqui identificada como ETE G1, e outra de maior porte, identificada como ETE G2, cujos efluentes tratados se unem em uma torre de equilíbrio compartilhada antes do lançamento conjunto no corpo receptor. Este estudo tem como objeto a ETE G2, unidade de maior capacidade e complexidade operacional do sistema. As informações operacionais, descrições de processo e parâmetros apresentados foram obtidos por meio de acompanhamento operacional da planta, observações técnicas in loco e consulta a documentos e registros internos, incluindo o Manual de Operação da ETE (documento P-PC-0462 G2).

A caracterização do efluente bruto e do efluente tratado baseou-se em dados operacionais referentes ao período de janeiro a dezembro de 2024, contemplando um ciclo anual completo de operação, com o objetivo de captar variações sazonais e operacionais do processo produtivo. Os dados foram provenientes de ensaios laboratoriais e de sistemas de monitoramento por analisadores em tempo real. O controle operacional do efluente bruto inclui monitoramento diário de DQO, cor e SST, complementado por análises quinzenais de DBO5. Já o monitoramento do efluente tratado seguiu as frequências estabelecidas na Licença de

Operação: análises diárias para AOX, coliformes termotolerantes, DBO5, DQO, fósforo total, pH, sólidos sedimentáveis, SST e temperatura; semanais para fenóis totais, nitrogênio amoniacal e substâncias tensoativas; semestrais para dioxinas e furanos; e bimestrais para os ensaios de toxicidade aguda. As análises de caracterização físico-química, biológica e ecotoxicológica foram realizadas por meio de métodos analíticos padronizados, seguindo normas e protocolos reconhecidos (ex.: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e métodos EPA para dioxinas e furanos), garantindo rastreabilidade e comparabilidade dos resultados.

Os parâmetros avaliados foram selecionados com base nos critérios estabelecidos pela Licença de Operação (LO) n.º 01724/2025, emitida pela FEPAM, e nos indicadores críticos descritos na literatura especializada para efluentes de celulose kraft (carga orgânica, sólidos suspensos, nutrientes e condições operacionais do tratamento biológico). A avaliação da conformidade do efluente tratado considerou os limites da LO vigente e os critérios das Resoluções CONAMA n.º 430/2011 e CONSEMA n.º 355/2017, incluindo ensaios ecotoxicológicos com dois níveis tróficos (*Daphnia Magna* e *Danio Rerio*) para o cálculo da Concentração de Efluente no Corpo Receptor (CECR), conforme o Art. 18 da Resolução CONAMA n.º 430/2011.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Sistema de tratamento

A ETE estudada foi projetada para vazão de 4.500 m³/h, com capacidade hidráulica máxima de 5.500 m³/h, e opera em três estágios sequenciais, ilustrados de forma simplificada na **Figura 1**.

Tratamento primário: os efluentes com fibras (EFC) e sem fibras (EFF) são segregados em linhas independentes até o tanque de neutralização. O EFC passa por gradeamento e decantação primária, onde o lodo sedimentado é removido por braços raspadores com sensor de torque; o efluente clarificado segue então para a

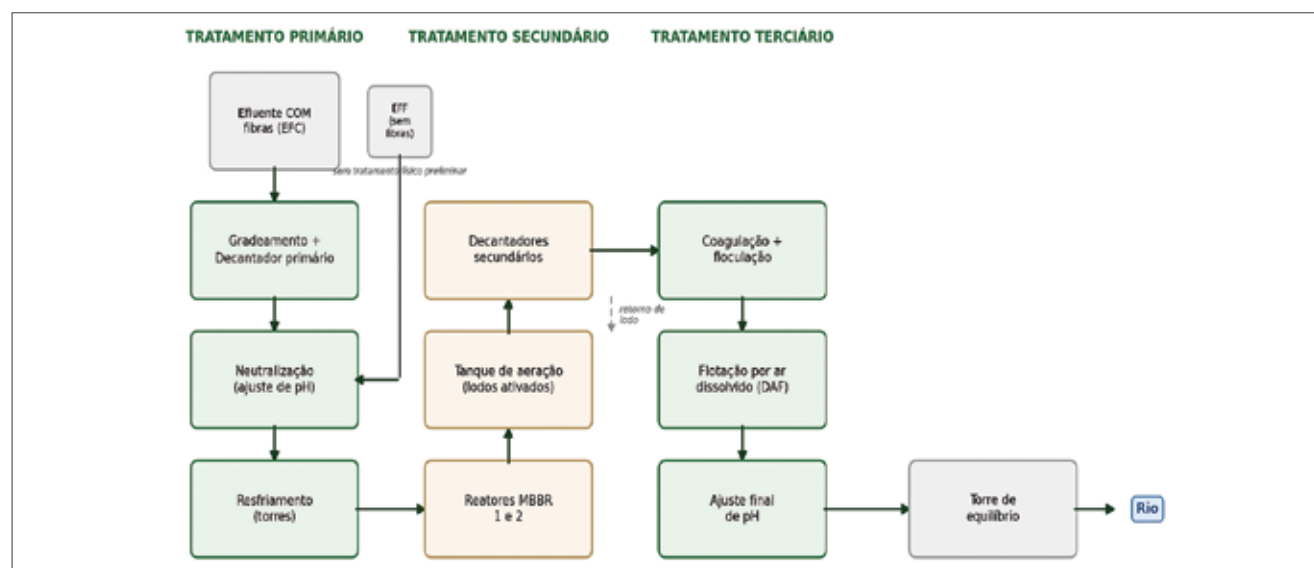


Figura 1. Fluxograma simplificado da estação de tratamento de efluentes (ETE) estudada. **Fonte:** elaborado pelos autores

neutralização, onde é misturado ao EFF e tem o pH corrigido com H₂SO₄ ou NaOH. Um sistema de lagoas de emergência permite o desvio do fluxo quando o pH sai da faixa de 6–9 ou a condutividade excede 6.000 µS/cm na entrada da neutralização – mecanismo que protege a etapa biológica subsequente de choques de carga inorgânica. Após a neutralização, o efluente é resfriado em torres multicelulares com controle automatizado de ventilação (VFD) antes de seguir ao tratamento biológico.

Tratamento secundário: constitui o núcleo do sistema, dois reatores MBBR em série (biomassa aderida a carriers móveis, com aeração de bolha grossa) seguidos de um tanque de aeração em fluxo-pistão (lodos ativados), e separação sólido-líquido em dois decantadores secundários em paralelo, com retorno do lodo sedimentado ao início do tanque de aeração. A combinação MBBR + lodos ativados busca conciliar as vantagens de cada configuração: o biofilme aderido do MBBR confere maior resistência a choques de carga e retenção de biomassa mesmo sob oscilações hidráulicas, enquanto o sistema de lodos ativados em fluxo-pistão favorece o controle fino da relação alimento/microrganismo (F/M) e da idade do lodo (Ødegaard, 2006). O controle operacional mantém a relação F/M na faixa de 0,25 a 0,35 kg DQO/kg SSV/dia, com suplementação de nitrogênio e fósforo (ureia e ácido fosfórico) para evitar limitação nutricional da biomassa, fator especialmente relevante dado o baixo teor de nutrientes tipicamente presente em efluentes de celulose kraft.

Tratamento terciário: atua como polimento final – coagulação com sulfato de alumínio, floculação com polímero e ajuste de pH (5,2–5,5), seguidos de flotação por ar dissolvido (DAF)

em dois flotadores. O efluente flotado segue para correção final de pH (6–8) com NaOH e, por fim, para uma torre de equilíbrio antes do lançamento no corpo receptor.

Caracterização do efluente bruto

O efluente afluente à ETE apresentou, no período avaliado, médias anuais de 1.063,09 mg(O₂)/L de DQO (desvio padrão de 254,11 mg/L; 23,9% de variação) e 483,89 mg(O₂)/L de DBO₅ (desvio de 113,01 mg/L; 23,4%), com cor média de 1.168,84 mg(PtCo)/L e SST de 69,86 mg/L. Essas concentrações são compatíveis com a faixa típica descrita na literatura para efluentes de celulose kraft branqueada (Bajpai, 2018), refletindo a contribuição predominante das etapas de lavagem, depuração e branqueamento na carga orgânica total do processo.

A comparação entre o efluente bruto e os limites da LO n.º 01724/2025 evidenciou seis parâmetros críticos, em ordem decrescente de magnitude relativa ao limite legal: DBO₅ (13,4× o limite), fenóis totais (8,0×), DQO (7,6×), sólidos sedimentáveis (7,0×), AOX (2,4×) e SST (1,5×). Esse diagnóstico reforça que a carga orgânica dissolvida, e não os sólidos suspensos, representa o principal desafio ao dimensionamento e à operação do tratamento biológico da unidade, o que é consistente com a baixa relação DBO₅/DQO característica de efluentes kraft, associada à presença de compostos recalcitrantes derivados da lignina (Bajpai, 2018; Bender *et al.*, 2019).

A **Tabela 1** sintetiza essa comparação, apresentando simultaneamente a caracterização do efluente bruto, o desempenho médio anual do efluente já tratado e o limite legal aplicável a

Tabela 1. Caracterização do efluente bruto e do efluente tratado (médias anuais) frente aos limites legais de emissão (LO n.º 01724/2025; CONAMA n.º 430/2011; CONSEMA n.º 355/2017)

Parâmetro / Parameter	Efluente bruto / Raw effluent	Efluente tratado (média anual) / Treated effluent (annual avg.)	Limite legal / Legal limit
AOX, kg/t ¹	0,24	0,04	≤ 0,10
Coliformes termotolerantes, NMP/100 mL ¹	< 1	2,34	≤ 1.000
Cor, mg(PtCo)/L ^{2,3}	1.168,84	559,23	não se aplica ⁴
DBO ₅ , mg(O ₂)/L ²	483,89	2,13	≤ 36
DQO, mg(O ₂)/L ²	1.063,09	80,62	≤ 140
Fenóis totais, mg/L ¹	0,40	0,02	≤ 0,05
Fósforo total, mg(P)/L ¹	0,9	0,15	≤ 0,9
Nitrogênio amoniacal, mg(N)/L ¹	< 5	< 5	≤ 20
pH ²	8,56	6,33	6 – 9
Sólidos sedimentáveis, mL/L ¹	7,0	0,13	≤ 1,0
SST, mg/L ²	69,86	9,25	≤ 46
Substâncias tensoativas, mg(LAS)/L ¹	0,4	0,11	≤ 2
Temperatura, °C ¹	42	35,15	≤ 40
Vazão, m³/h ^{2,5}	3.667,09	3.432,96	ver nota ⁵

¹ Valor da campanha de caracterização anual do efluente bruto (amostra única, 31/01/2024).

² Valor médio anual obtido por monitoramento contínuo do efluente bruto (entrada do tanque de neutralização) e do efluente tratado.

³ O valor de cor do efluente tratado refere-se à saída dos decantadores secundários (antes da etapa terciária de coagulação/floculação/flotação, que promove remoção complementar de cor).

⁴ A legislação aplicável (CONSEMA n.º 355/2017) não estabelece limite quantitativo para cor, exigindo apenas que o efluente lançado não confira coloração perceptível ao corpo receptor.

⁵ Vazões de entrada e saída específicas da ETE G2 (objeto deste estudo). O limite de 154.400 m³/dia da LO n.º 01724/2025 aplica-se à vazão de lançamento conjunta das ETEs G1 e G2 no ponto de descarga compartilhado (torre de equilíbrio), discutida na seção 3.4.

Fonte: elaborado pelos autores

cada parâmetro. Para os parâmetros com monitoramento contínuo (DQO, DBO5, SST e pH), os valores do efluente bruto correspondem à média anual de entrada no tanque de neutralização; para os demais parâmetros, sem monitoramento contínuo, os valores refletem a campanha de caracterização anual realizada em 31/01/2024.

Desempenho do tratamento biológico

O monitoramento do licor misto ao longo de 2024 indicou tendência consistente de melhora na sedimentabilidade do lodo: o índice volumétrico do lodo (SVI) reduziu de 135 mL/g em janeiro para 92 mL/g em dezembro, com média anual de 100 mL/g – variação classificada entre as faixas “média” e “excelente” segundo Von Sperling (2016), sem incidência de valores associados a intumescimento filamentosos (bulking). Essa trajetória sugere amadurecimento progressivo do biofilme aderido aos carriers dos reatores MBBR ao longo do ano, com reflexo direto na estabilidade da separação sólido-líquido nos decantadores secundários.

A relação SSV/SST manteve-se na faixa “convencional” (0,70–0,85) em 67% das avaliações mensais e na faixa “lodo estabilizado” (0,60–0,70) nos 33% restantes, comportamento coerente com a idade do lodo média de 28 dias observada no período. A **Figura 2** apresenta a evolução conjunta desses dois indicadores ao longo do ano, evidenciando a trajetória de melhora do SVI e a estabilidade relativa da fração SSV/SST no mesmo período. Essa combinação de F/M controlado (seção 3.1) e suplementação nutricional adequada provavelmente contribuiu para a trajetória de queda do SVI observada, uma vez que o desequilíbrio na relação carbono/nitrogênio/fósforo é um

dos principais fatores associados à proliferação de bactérias filamentosas e à consequente deterioração da sedimentabilidade do lodo (Von Sperling, 2016; Jenkins; Richard; Daigger, 2003).

A concentração média de oxigênio dissolvido no tratamento biológico foi de 2,4 mg(O₂)/L (desvio de 0,5 mg/L), atendendo à recomendação de no mínimo 2 mg(O₂)/L descrita por Oliveira *et al.* (2014) para garantir a atividade metabólica de microrganismos heterotróficos.

Com base nesses parâmetros de estabilidade, o tratamento secundário – avaliado entre a entrada do tanque de neutralização e a saída dos decantadores secundários – alcançou eficiências médias de remoção de 77,2% para DQO, 80,7% para SST e 52,2% para cor (**Tabela 2**). Os valores de eficiência para DQO e SST são compatíveis com o desempenho tipicamente reportado para sistemas biológicos aeróbios aplicados a efluentes kraft (Metcalf & Eddy, 2014; Bajpai, 2018); a eficiência mais modesta para cor era esperada, uma vez que compostos cromóforos derivados da lignina apresentam baixa biodegradabilidade e sua remoção depende, em grande parte, da etapa terciária de coagulação/floculação/flotação subsequente.

Conformidade do efluente tratado

A avaliação dos doze parâmetros de emissão monitorados ao longo de 2024 demonstrou conformidade plena com os limites da LO nº 01724/2025 e das Resoluções CONAMA nº 430/2011 e CONSEMA nº 355/2017, tanto em termos de médias anuais quanto de valores máximos pontuais. Os resultados de maior relevância – DBO5 (média de 2,13 mg/L frente ao limite de 36 mg/L), DQO (80,62 mg/L frente a 140 mg/L) e SST (9,25 mg/L frente a 46 mg/L) – indicam

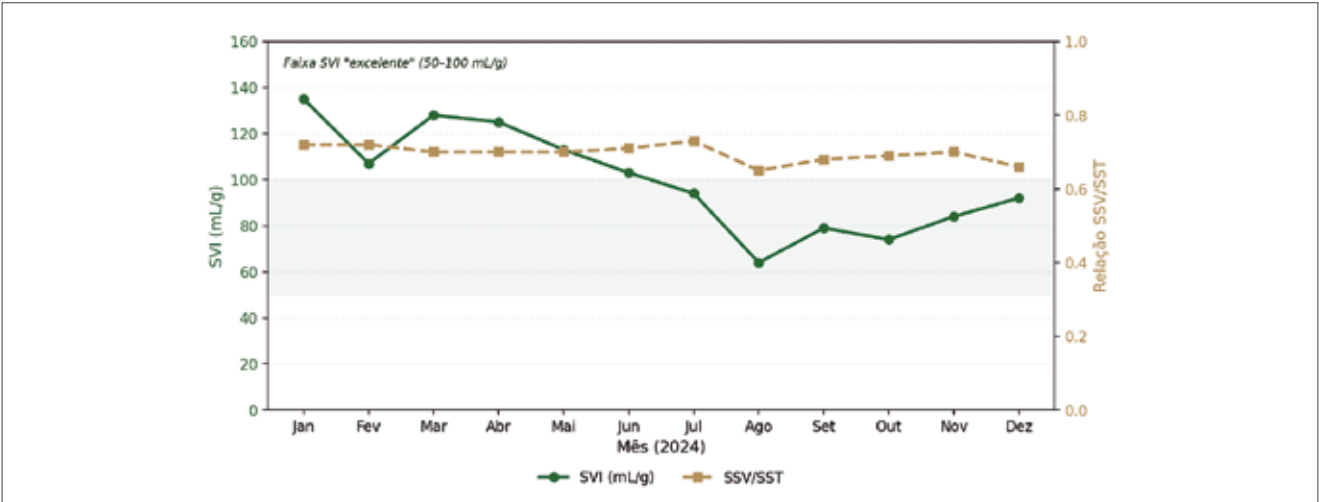


Figura 2. Evolução mensal do SVI e da fração SSV/SST no licor misto (2024). Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 2. Eficiência do tratamento secundário na remoção de DQO, cor e SST (médias anuais)

Parâmetro / Parameter	Entrada (tanque de neutralização) / Inlet (neutralization tank)	Saída (decantadores secundários) / Outlet (secondary clarifiers)	Eficiência / Efficiency
DQO, mg(O ₂)/L	1.063,09	241,90	77,2%
Cor, mg(PtCo)/L	1.168,84	559,23	52,2%
SST, mg/L	69,86	13,45	80,7%

margem operacional confortável, mesmo considerando os valores máximos pontuais registrados (3,00; 105,40; e 25,40 mg/L, respectivamente). Os parâmetros AOX e fenóis totais foram os que mais se aproximaram do limite legal em pontos isolados (valores máximos iguais aos respectivos limites de 0,10 kg/t e 0,05 mg/L), sem, no entanto, ultrapassá-los, o que os mantém como parâmetros de atenção prioritária para o monitoramento contínuo da unidade, dado que já haviam sido identificados como críticos no efluente bruto (seção 3.2). Expressos em termos de eficiência de remoção global (Tabela 1), esses dois parâmetros, os mais críticos do afluente, corresponderam a reduções de 83,3% para AOX (de 0,24 para 0,04 kg/t) e 95,0% para fenóis totais (de 0,40 para 0,02 mg/L), eficiências superiores até mesmo às obtidas para DQO e SST no tratamento secundário isoladamente (Tabela 2). Esse resultado evidencia a contribuição relevante da etapa terciária (coagulação/floculação/flotação) na remoção complementar desses compostos mais recalcitrantes, que tendem a ser pouco biodegradáveis e, portanto, menos susceptíveis à remoção biológica isolada.

Os ensaios de dioxinas e furanos (abril e dezembro de 2024) confirmaram concentrações abaixo dos limites de detecção e dos níveis de referência do CFR 40 § 430 da USEPA, adotados na ausência de legislação nacional específica. Os ensaios de toxicidade aguda bimestrais, em dois níveis tróficos, não detectaram CL50 em nenhuma campanha (Fator de Toxicidade = 1), e os valores calculados de CECR (0,56 a 0,87) mantiveram-se integralmente abaixo dos critérios do Art. 18 da Resolução CONAMA n.º 430/2011. A **Tabela 3** resume esses resultados.

A vazão de lançamento manteve-se em conformidade, com média anual de 121.779 m³/dia frente ao limite de 154.400 m³/dia. Esse valor corresponde à vazão medida no ponto de lançamento conjunto do sistema – após a torre de equilíbrio onde se unem os efluentes tratados das ETEs G1 e G2 –, e não deve ser confundido com a vazão de entrada e saída específica da ETE G2 apresentada na Tabela 1, que corresponde apenas à unidade objeto deste estudo. As três ocorrências de ultrapassagem do critério de vazão de pico (1,5× a vazão média horária, conforme Art. 16 da CONAMA n.º 430/2011) tiveram causa identificada, uma interrupção geral no fornecimento de

energia elétrica na região (17–18/01/2024) e uma parada geral de manutenção (18/08/2024), e foram tecnicamente justificadas junto ao órgão ambiental, ilustrando uma limitação metodológica do próprio critério legal: reduções abruptas na vazão de referência distorcem o cálculo do multiplicador, gerando falsos excedentes durante o restabelecimento operacional, ainda que dentro da capacidade da unidade.

Oportunidade de melhoria: monitoramento por respirometria

Embora os resultados demonstrem desempenho consistentemente satisfatório, o controle biológico da ETE depende atualmente da leitura de oxigênio dissolvido (OD), que reflete o balanço entre oxigênio fornecido e consumido, sem isolar a demanda metabólica real exercida pela biomassa. Diante da variabilidade de carga orgânica observada no afluente (desvios de 23,9% para DQO e 23,4% para DBO5) e da possibilidade de ingresso de compostos com efeito inibitório oriundos da polpação kraft, a implantação de um respirômetro para monitoramento da taxa de consumo de oxigênio (Oxygen Uptake Rate, OUR) representaria uma ferramenta complementar de controle preventivo, permitindo identificar precocemente choques de carga, deficiências nutricionais ou eventos de toxicidade antes que se traduzam em perda de eficiência do tratamento.

CONCLUSÃO

A ETE avaliada demonstrou elevado nível de eficiência técnica e conformidade ambiental ao longo do ciclo anual de 2024, atendendo integralmente aos padrões de emissão estabelecidos pela Licença de Operação e pela legislação ambiental aplicável. A arquitetura de tratamento, combinando etapas primária (decantação e neutralização), secundária (MBBR associado a lodos ativados) e terciária (coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido), mostrou-se adequada às características do efluente kraft, com o tratamento secundário respondendo pela maior parcela da remoção de carga orgânica (77,2% de DQO) e o terciário atuando de forma complementar sobre cor e sólidos residuais.

Os indicadores operacionais do processo biológico – melhora progressiva do SVI, estabilidade da relação SSV/SST e manutenção do OD acima do mínimo recomendado – evidenciam maturidade e resiliência do sistema frente à varia-

Tabela 3. Resultados de dioxinas, furanos e toxicidade aguda do efluente tratado (2024)

Ensaio / Assay	Campanhas / Campaigns	Resultado / Result	Critério / limite / Criterion / limit	Avaliação / Assessment
Dioxinas (2,3,7,8-TCDD)	Abr e Dez/2024	< 1,00 – 1,02 pg/L	< 10 pg/L (ML) ¹	Atende
Furanos (2,3,7,8-TCDF)	Abr e Dez/2024	< 1,00 – 1,02 pg/L	< 31,9 pg/L (ML) ¹	Atende
Toxicidade aguda (CECR)	6 campanhas bimestrais	0,56 – 0,87	≤ 30 ÷ FT (FT = 1)	Atende em todas

¹ ML = Minimum Level, método EPA 1613. Referências de dioxinas/furanos conforme USEPA (CFR 40 § 430), na ausência de limite nacional. Fonte: elaborado pelos autores

bilidade típica do processo produtivo. A ausência de ultrapassagens nos parâmetros de emissão, incluindo os ensaios ecotoxicológicos e de dioxinas/furanos, reforça a efetividade da integração entre tratamento físico-químico e biológico como estratégia para o atendimento aos requisitos ambientais no setor de celulose kraft.

Como oportunidade de melhoria, recomenda-se a implantação de respirometria no tratamento secundário, ferramenta que ampliaria a capacidade de resposta operacional a eventos de choque de carga ou toxicidade, reforçando a confiabilidade do sistema e contribuindo para a melhoria contínua da gestão ambiental da unidade. ■

REFERÊNCIAS

- BAJPAI, P. Biological treatment of pulp and paper mill effluents. In: BAJPAI, P. *Biotechnology for pulp and paper processing*. Singapore: Springer, 2018, p. 313-369.
- BENDER, A. F.; SOUZA, J. B.; VIDAL, C. M. de S. Tecnologias avançadas de tratamento visando à remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, p. 571-582, 2019.
- JENKINS, D.; RICHARD, M. G.; DAIGGER, G. T. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems*. 3 ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- METCALF; EDDY Inc. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. 5 ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- ØDEGAARD, H. Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process. *Water Science and Technology*, Trondheim, v. 53, n. 9, p. 17-33, 2006.
- OLIVEIRA, D. V. M.; RABELO, M. D.; NARIYOSHI, Y. N. Evaluation of a MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) pilot plant for treatment of pulp and paper mill wastewater. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, v. 2, n. 4, p. 220-225, 2014.
- VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuais: lodos ativados*. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.



REVISTA O PAPEL SUBMISSÃO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS

A Revista *O PapeL* é uma publicação tradicional e consolidada no setor de Celulose & Papel, sendo reconhecida por sua forte inserção tanto no meio industrial quanto na comunidade científica. Seu público é formado por profissionais da indústria, pesquisadores, docentes e estudantes de diversas instituições nacionais e internacionais, proporcionando aos artigos publicados ampla visibilidade e excelente potencial de disseminação do conhecimento entre a academia e o setor produtivo.

Todos os artigos publicados a partir de agora passam a receber DOI (Digital Object Identifier), fortalecendo a rastreabilidade, a visibilidade e o reconhecimento das publicações científicas. Além disso, a publicação dos artigos aprovados pelo Comitê Avaliador será feita sem qualquer taxa.

A ABTCP, editora da Revista *O PapeL*, e seu editor-científico responsável por esta publicação – Professor Fernando José Borges Gomes, Dsc., do Departamento de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – convidam os autores a submeterem seus artigos pelo portal [newspulpaper.com](https://artigostecnicosabtcp.revistaopapel.org.br), através do qual é possível acessar o sistema de submissão: <https://artigostecnicosabtcp.revistaopapel.org.br>