

SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS

Jéssica Kunsminkas da Silva¹, Luiz Antonio Godoy de Fonseca Junior¹, Eduarda Freitas Diogo Januário¹

¹ Contech Produtos Biodegradáveis. Brasil

RESUMO

A crescente demanda por água de forma global fez aumentar a busca pelo uso de soluções sustentáveis para recuperação, reúso ou descarte de forma consciente de águas utilizadas no setor produtivo. Sendo a indústria de celulose e papel uma das que consomem maiores volumes de água, faz-se necessário o investimento em alternativas para o tratamento de águas e adoção de medidas para seu reaproveitamento no processo. A escolha por um tratamento adequado irá depender de alguns fatores, principalmente a qualidade da água a ser tratada e o seu destino após o tratamento. Alguns processos já são amplamente conhecidos e utilizados em fabricantes do setor de C&P, como tratamentos físico-químicos, envolvendo coagulação e floculação para clarificação de água e efluentes, muitas vezes combinados a processos microbiológicos, possibilitando a adequação da água para descarte em rios e lagos segundo parâmetros regulamentados por órgãos ambientais. Em casos de águas que apresentam altos níveis de contaminação, especialmente por carga orgânica, torna-se imprescindível a avaliação de alternativas que apresentem maiores eficiências. O uso de processos oxidativos avançados se apresenta como grande vantagem na degradação de carga orgânica de difícil remoção. Tais processos se fundamentam na geração de radical hidroxila a partir de espécies oxidantes. Este radical hidroxila reage rapidamente com diversos compostos orgânicos, resultando na formação de radicais orgânicos que, ao reagirem com oxigênio, desencadeiam uma série de reações de degradação. Estas reações levam a formação de espécies inofensivas ao meio ambiente e garantem a redução de parâmetros como DQO e DBO, além de promover redução na carga de sólidos dissolvidos. Além de garantir uma água com melhor qualidade para descarte, esta é uma solução que também permite o reúso da água tratada no próprio processo produtivo, possibilitando a redução de captação de água fresca para uso industrial.

Palavras-chave: tratamento de água, processos oxidativos avançados, reúso de água.

INTRODUÇÃO

Com a iminência da escassez de água e conseqüente elevação dos custos de sua captação e descarte, a possibilidade de reúso de águas residuárias propicia não somente o enquadramento ambiental, como uma maior eficiência das indústrias. O setor da indústria de celulose e papel, por exemplo, é notória pelo consumo intensivo de água e geração significativa de efluentes contaminados, o que representa desafios ambientais significativos. Dessa maneira, a preocupação com um desenvolvimento sustentável torna a busca por soluções eficientes cada vez mais frequente, de forma a garantir maior segurança e sustentabilidade para as gerações futuras [1].

Um dos grandes desafios atualmente é tratar efluentes e águas de processo com elevada contaminação orgânica, que muitas vezes são considerados de difícil remoção por métodos convencionais: tratamentos físico-químicos, lodos ativados, reatores anaeróbios e lagoas de decantação não são capazes de degradar a matéria orgânica com eficiência e geram altos custos e complexas operações, como a geração de lodo e posterior descarte em aterros [2,3].

Neste aspecto, nos últimos anos, Processos Oxidativos Avançados (POA) tem merecido destaque devido a sua alta eficiência na degradação de inúmeros compostos orgânicos e tem se mostrado uma alternativa no tratamento de águas superficiais, subterâneas, solos contaminados e efluentes indústrias [3].

Processos oxidativos avançados são processos de oxidação que geram radicais hidroxilas ($\bullet\text{OH}$), os quais são espécies altamente oxidantes, em quantidade suficiente para provocar a mineralização da matéria orgânica à dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e íons inorgânicos [4]. Esses radicais podem ser formados por vários processos classificados como homogêneos e heterogêneos, com ou ausência de catalizadores ou irradiação. Radical hidroxila possui alto potencial oxidativo se comparado a outros agentes oxidantes, garantindo a eficácia da capacidade de oxidação quanto do ponto de vista cinético [5,6].

A água tratada por processos oxidativos avançados pode ser purificada a ponto de ser reutilizada em diversas operações

dentro da própria indústria, como no processo de fabricação de papel ou na refrigeração industrial. Isso não apenas conserva recursos hídricos preciosos, mas também reduz os custos associados à captação de água fresca e ao tratamento convencional de efluentes. Além disso, a redução da carga de poluentes nos efluentes tratados com base em tratamentos oxidativos permitem o enquadramento de efluentes para descartes, minimizando o impacto negativo sobre corpos d'água receptores e ecossistemas aquáticos adjacentes [5]. Isso é crucial para o cumprimento de regulamentações ambientais rigorosas e para promover a sustentabilidade da operação industrial.

Nesse contexto, considerando a importância do desenvolvimento de uma solução definitiva ou que complemente os sistemas de tratamentos clássicos, este trabalho tem como objetivo apresentar estudos que exploram uma potencialização dos processos de oxidação avançados por meio de um sistema multioxidativo, sistema que combina soluções químicas e mecânicas que intensificam os processos reacionais entre oxidantes e matéria orgânica, promovendo aumento na eficiência da geração dos radicais hidroxila e da mineralização total ou parcial da matéria orgânica. Os estudos realizados demonstram o amplo potencial para o tratamento de águas de processo e águas residuárias de modo a se adequarem aos parâmetros de qualidade exigidos.

MÉTODOS

Os estudos reportados neste trabalho foram realizados com águas de processos de produtores de celulose e papel. A avaliação de tratabilidade inicia-se por estudos laboratoriais, de modo a verificar as características da água a ser tratada, o que auxilia na seleção do tipo de tratamento. Após a definição da melhor condição de tratamento por meio de ensaios laboratoriais, o estudo através de testes em escala piloto permite a confirmação da eficácia do tratamento de acordo com a proposta desejada.

Também é muito importante ser considerado o objetivo da água ou efluente a ser tratado, sendo ele para descarte, para recuperação e/ou para reutilização em estágios do processo produtivo. Tal informação é de extrema relevância para compreensão dos parâmetros necessários a serem atingidos com os tratamentos.

1. Tratamento de clarificado de licor branco de fabricante de papel

O objetivo deste estudo foi a tratabilidade de efluente proveniente da clarificação do licor branco, visando ampliar a capacidade de seu reúso no processo. Atualmente, esse clarificado passa por tratamento com sulfato de alumínio como coagulante e polímero aniônico como floculante. Primeiro, realizou-se a caracterização da água segundo os parâmetros de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais suspensos (TSS), sólidos totais dissolvidos (TDS), condutividade, turbidez, pH e dureza. A partir das características obtidas e sabendo-se qual o direcionamento da água após o tratamento, os ensaios de tratabilidade foram executados. Os ensaios de clarificação foram

realizados por meio de **Jar Test** com a avaliação de diferentes floculantes (catiônicos e aniônicos, em pó e em emulsão, a partir do portfólio da Contech). Os principais parâmetros analíticos avaliados nessa etapa são turbidez, pH, DQO e TSS.

A partir dos resultados de clarificação obtidos, a condição ótima é definida para a sequência dos tratamentos oxidativos utilizando o sistema multioxidativo, avaliando-se aplicação de diferentes soluções oxidantes (selecionadas a partir da linha de produtos da Contech) e otimizando as dosagens de aplicação. A utilização de filtração a carvão ativado também é examinada a fim de complementar o sistema de tratamento.

2. Tratamento de água branca de fabricante de celulose branqueada

O objetivo deste trabalho foi focado na redução dos níveis de extrativos lipossolúveis do sistema de água branca, a fim de minimizar os impactos de contaminação ao longo do processo produtivo da celulose. Os ensaios laboratoriais foram iniciados com a caracterização de amostras de água branca segundo os parâmetros de extrativos lipossolúveis, DQO, condutividade, pH, dureza, turbidez, TSS e TDS. Em seguida, os ensaios foram conduzidos com aplicação do tratamento multioxidativo, otimizando as dosagens dos oxidantes avaliados. O tratamento foi complementado com filtração a carvão ativado.

Com base nas condições otimizadas em escala laboratorial, a aplicação do tratamento com sistema multioxidativo foi avaliada em escala piloto (numa vazão de até 5m³), ocorrido na planta produtiva de celulose, com instalação no estágio de secagem e captação de água branca do Tanque de Água Branca. Os módulos utilizados da planta piloto foram filtros de areia, reator multioxidativo (equipamento desenvolvido pela Contech) e filtros de carvão. O teste teve durabilidade de 12 dias, iniciando-se com uma rampa de dosagem para uma otimização da condição de aplicação de soluções oxidantes. Foram avaliados os mesmos parâmetros analíticos, conforme os ensaios em escala laboratorial, com execução de análises diárias através de coletas pré- e pós-tratamento do sistema multioxidativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão compilados representando cada fase avaliada para os ensaios explorados. A partir dos objetivos definidos para cada estudo de caso, bem como das características dos materiais a serem tratados, os ensaios foram realizados avaliando-se a eficácia dos tratamentos empregados.

1. Tratamento em clarificado de licor branco

Devido aos elevados níveis de DQO, atualmente enfrentados na planta produtiva deste produtor, esse foi o principal parâmetro como foco dos tratamentos realizados, complementado pelas demais análises também relevantes. Inicialmente, avaliamos uma otimização do tratamento de clarificação, utilizando uma série de floculantes nos testes, dentre polímeros catiônicos e aniônicos, de média a alta densidade de carga e de médios

a altos pesos moleculares. A condição ótima foi atingida aplicando-se um polímero aniônico de densidade de carga e peso molecular médios, numa dosagem de 25 ppm. A partir desse tratamento, foi possível uma redução de 94% em turbidez, 38% em DQO e 61% em TSS. A **Tabela 1** apresenta os dados analíticos para os principais parâmetros avaliados nessa etapa de clarificação, utilizando como referência os parâmetros obtidos com base no tratamento atualmente empregado.

Na sequência, amostras após o tratamento de clarificação foram submetidas ao tratamento de oxidação avançada através do sistema multioxidativo, otimizando a condição de aplicação do tratamento. O tratamento otimizado propiciou uma redução de até 91% em DQO, 99% em turbidez, 64% em TSS e 8% em TDS.

A **Tabela 2** contempla os resultados analíticos para cada estágio dos tratamentos, segundo as condições otimizadas.

Vale ressaltar que o tratamento gerou uma água com qualidade superior à água atualmente captada por este produtor. A **Figura 1** representa o aspecto da água de cada etapa envolvida nos tratamentos realizados, uma demonstração visual da melhoria proporcionada pelas soluções empregadas.

A combinação das soluções avaliadas permite uma significativa redução nos níveis de contaminantes tanto orgânicos como inorgânicos, possibilitando aumento na capacidade de reutilização dessa água tratada em diferentes estágios do processo produtivo.

2. Tratamento de água branca

Inicialmente, foram avaliadas as principais características da água branca a ser tratada. Embora diversos parâmetros te-

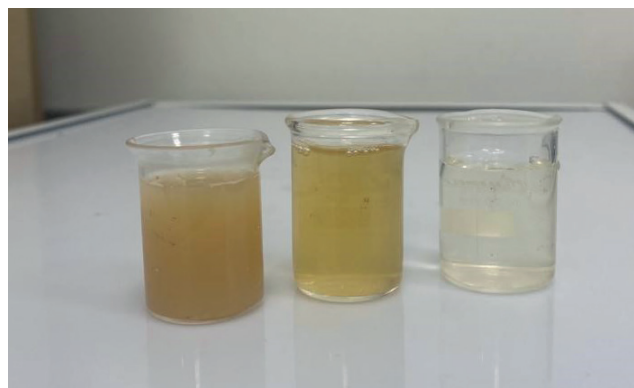


Figura 1. Aspecto das amostras antes do tratamento (à esquerda), após tratamento de clarificação (centro) e após o tratamento multioxidativo (à direita)

tenham sido avaliados, a redução dos níveis de extrativos lipossolúveis representavam o principal objetivo para este produtor de celulose. A partir dos resultados de caracterização da água branca segundo os parâmetros avaliados (extrativos lipossolúveis, DQO, condutividade, pH, dureza, turbidez, TSS e TDS), os tratamentos multioxidativos foram empregados, avaliando-se uma curva de dosagem para combinação de oxidantes. Os melhores resultados foram observados em dosagens de 75 a 100 ppm da solução oxidante selecionada. Os dados de caracterização pré- e pós-tratamentos estão presentes na **Tabela 3**.

Além da redução em extrativos lipossolúveis, na ordem de 50-58%, o tratamento multioxidativo também demonstrou ótimas respostas em redução de DQO, turbidez, condu-

Tabela 1. Caracterização das amostras pré- e pós-tratamento de clarificação

| Amostra ^(a) | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) | TSS (ppm) | TDS (ppm) |
|------------------------|----------------|------------|-----------|-----------|
| Pré-tratamento | 3030 | 8655 | 248 | 6136 |
| Clarificação atual | 333 | 5715 | 192 | 5281 |
| Clarificação otimizada | 187 | 5360 | 97 | 5619 |

(a) – Água de Clarificado do Licor Branco

Tabela 2. Caracterização das amostras pré- e pós-tratamentos otimizados

| Amostra ^(a) | pH | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) | Condutividade (uS/cm ⁻¹) | Dureza (mgCaCO ₃ /L) | TSS (ppm) | TDS (ppm) |
|----------------------------|-----|----------------|------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| Pré-tratamento | 5,4 | 3030 | 8655 | 2900 | 475 | 248 | 6136 |
| Pós-clarificação | 4,0 | 333 | 5360 | 3320 | 390 | 97 | 5619 |
| Pós-Sistema Multioxidativo | 6,8 | 26 | 796 | 4000 | 392 | 89 | 4488 |

(a) – Água de Clarificado do Licor Branco

Tabela 3. Caracterização de amostras de água branca antes e após os tratamentos multioxidativos

| Amostra ^(a) | Extrativos lipos. (ppm) | pH | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) | Condutividade (uS/cm ⁻¹) | Dureza (mgCaCO ₃ /L) | TSS (ppm) | TDS (ppm) |
|--------------------------------|-------------------------|-----|----------------|------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------|
| Pré-tratamento | 117 | 6,5 | 87 | 451 | 1188 | 41,9 | 100 | 900 |
| Sistema Multioxidativo 75 ppm | 58 | 7,7 | 52 | 102 | 1119 | 31,9 | ND ^(a) | 1000 |
| Sistema Multioxidativo 100 ppm | 49 | 7,9 | 54 | 109 | 992 | 30,4 | ND ^(a) | 1000 |

(a) – Água Branca

tividade, dureza e TSS. Com base nos resultados obtidos, o estudo de tratabilidade da água branca para reúso avançou para teste em escala piloto. A instalação da planta piloto do sistema multioxidativo foi realizada na planta produtiva deste produtor de celulose, captando água branca do processo, no estágio de secagem. A **Figura 2** compreende a planta em escala piloto do sistema mult

O teste em escala piloto, executado durante 12 dias, foi acompanhado por meio de coletas diárias de amostras tanto pré- como pós-tratamento. A partir de uma rampa de dosagem de aplicação, que variou de 0 a 200 ppm, verificou-se



Figura 2. Planta piloto do Sistema Multioxidativo

que, semelhante aos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, a dosagem de 75 ppm foi a mais satisfatória para redução de extrativos lipossolúveis. Dessa forma, a dosagem de 75 ppm foi definida como a condição ótima para aplicação durante os últimos cinco dias do teste, de modo a verificar a reprodutibilidade de performance do tratamento multioxidativo. A **Figura 3** apresenta o gráfico de eficiência das dosagens aplicadas do produto frente a redução de extrativos lipossolúveis.

Uma observação importante durante o período de execução do teste se refere a grande variabilidade dos níveis de extrativos lipossolúveis na água branca captada para o tratamento. Este fato, porém, não demonstrou impactos significativos para a performance do tratamento multioxidativo, sendo observada uma eficiência de até 79% na redução de extrativos lipossolúveis. Na **Tabela 4** estão compilados os demais parâmetros analíticos avaliados durante a aplicação da condição otimizada do tratamento multioxidativo.

O tratamento avaliado nas condições otimizadas proporcionou uma ótima redução em níveis de contaminantes orgânicos, observação evidente por meio das eficiências de redução dos extrativos lipossolúveis e DQO. Além disso, verificou-se também a melhora na qualidade dos demais parâmetros, como sólidos, turbidez e condutividade. A **Figura 4** demonstra a melhora no aspecto visual da água branca após o tratamento multioxidativo empregado durante o teste piloto.

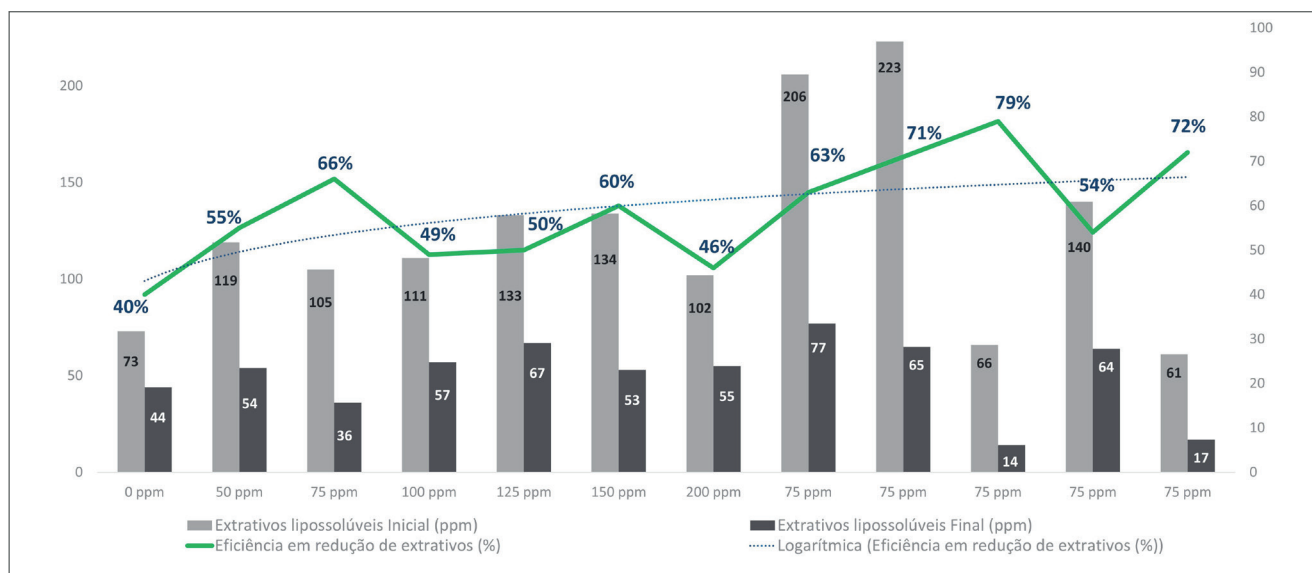


Figura 3. Gráfico representando a redução de extrativos lipossolúveis a partir das dosagens empregadas ao longo do teste em escala piloto

Tabela 4. Caracterização de amostras de água branca pré- e pós-tratamento multioxidativo em escala piloto

| Amostra ^(a) | Extrativos lipos. (ppm) | pH | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) | Condutividade (uS/cm ⁻¹) | Dureza (mgCaCO ₃ /L) | TSS (ppm) | TDS (ppm) |
|------------------------|-------------------------|-----|----------------|------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| Pré-tratamento | 61 | 6,5 | 93 | 550 | 1373 | 37,9 | 200 | 1500 |
| Sistema Multioxidativo | 17 | 6,6 | 52 | 346 | 1271 | 35,8 | 100 | 1100 |

(a) – Coletas de um mesmo dia do teste



Figura 4. Aspecto das amostras de água branca antes do tratamento multioxidativo (à esquerda) e após o tratamento multioxidativo

A solução desenvolvida resultou na minimização do nível de contaminantes da água branca, o que em dados práticos permite a redução do acúmulo de sujidades nos estágios subsequentes do processo produtivo. Adicionalmente, a eficiência da solução aplicada proporciona total possibilidade de reutilização dessa água no próprio sistema e em outras aplicações.

CONCLUSÕES

A associação de tratamentos de águas e efluentes convencionais com processos de oxidação avançados configura-se numa abordagem sustentável para melhorar significativamente a gestão hídrica nas indústrias de celulose e papel.

A partir dos estudos explorados neste trabalho, enquanto métodos clássicos como clarificação efetivamente removem sólidos suspensos e materiais sedimentáveis, o emprego de processos de oxidação avançados comprova ser essencial na degradação de compostos orgânicos persistentes, reduzindo assim a carga poluente e fortalecendo a conformidade ambiental. Essa combinação permite não somente a melhora na qualidade da água para descarte, como também possibilita sua adequação para reutilização no próprio processo produtivo, uma prática que contribui intensamente para a conservação dos recursos hídricos e para a redução do impacto ambiental das operações industriais. ■

REFERÊNCIAS

1. RABELO, M. D. **Avaliação da aplicação combinada dos processos foto-Fenton e biológico no tratamento de efluentes de indústria de celulose kraft branqueada.** 2005. 116 f. Tese (Doutorado) – Curso de Programa de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2005.
2. KAMALI, M.; KHODAPARAST, Z. **Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment.** *Ecotoxicology And Environmental Safety*, [s. l.], v. 114, p. 326-342, abril de 2015.
3. LINDHOLM-LEHTO, P. C.; KNUUTINEN, J. S.; AHKOLA, H. S. J.; HERVE, S. H. Refractory organic pollutants and toxicity in pulp and paper mill wastewaters. *Environmental Science And Pollution Research*, v. 22, n. 9, p. 6473-6499, 4 de fevereiro de 2015.
4. GLAZE, W. H.; KANG, J.; CHAPIN, D. H. The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. *Ozone: Science & Engineering*, **Informa UK Limited**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 335-352, set. 1987.
5. SILVA, T. C. F. **Processos oxidativos avançados para tratamento de efluentes de indústria de celulose kraft branqueada.** 2007, 104 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (UFV), 2007.
6. TAMBOSI, J. L. **Remediação de efluente da indústria de papel e celulose por processos oxidativos avançados e coagulação férrica.** 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2005.