ISSN: 2358-8829

USO DA ABORDAGEM CTSA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

João Pedro de Jesus da Silva [1]
Éveli Luiza dos Santos Silva [2]
Camila Maria Andrade dos Santos [3]

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil ocupa um lugar de destaque na economia brasileira, e no Agreste pernambucano isso fica muito evidente, já que a cadeia de confecções movimenta emprego e renda em cidades como Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe. O problema é que essa atividade tem um custo ambiental que nem sempre aparece na conversa sobre desenvolvimento. O beneficiamento dos fios e tecidos, principalmente o tingimento, usa muita água e uma lista longa de insumos químicos, o que faz da tinturaria uma das etapas que mais geram efluente líquido em toda a produção (KUNZ *et al.*, 2002). Conforme destacam Chaves, Carvalho e Oliveira (2022, p. 1133), a geração expressiva de águas residuais e a liberação de compostos tóxicos e de difícil degradação reforçam a necessidade de investigar e aplicar técnicas eficientes de tratamento de efluentes no setor.

Esse efluente costuma sair colorido, com pH que varia bastante de um lote para o outro e carregado de corantes, sais, auxiliares e, dependendo do material tingido, resíduos de óleo. Quando é lançado sem tratamento adequado, ele altera a cor e a transparência da água, atrapalha a passagem da luz e, com isso, a vida aquática, além de poder trazer compostos de difícil degradação para o ambiente (GUARATINI; ZANONI, 2000). Por isso a legislação brasileira estabelece condições e padrões para o lançamento de efluentes, e a Resolução CONAMA nº 430/2011 é a referência mais usada nesse assunto.

Este trabalho nasceu de uma situação real. Em uma indústria têxtil de Caruaru-PE, a tinturaria gerava resíduos líquidos do tingimento de fios e não contava com um sistema específico de tratamento antes do descarte. Um dos autores atua no controle de qualidade da

[1] Graduando do Curso de Química – Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste - UFPE CAA, joao.jesus@ufpe.br;
[2] Graduanda do Curso de Química – Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste - UFPE CAA, eveli.silva@ufpe.br;
[3] Professora orientadora: Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, camila.asantos@ufpe.br.

ISSN: 2358-8829

empresa e acompanhou de perto a tentativa de encontrar uma solução, o que deu origem a um relatório técnico interno com os testes feitos e uma proposta de estrutura para o tratamento. A partir desse material, decidimos olhar para a experiência também pelo lado da formação em Química, já que dois dos autores são licenciandos, e perguntamos o que uma abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) tem a acrescentar quando o assunto é tratar o efluente de uma indústria.

O objetivo geral foi analisar o tratamento de efluentes de uma tinturaria têxtil na perspectiva da abordagem CTSA. Especificamente, buscamos descrever as características do efluente, relatar as tentativas de tratamento realizadas, apresentar o procedimento químico que funcionou melhor e discutir de que modo os aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais se relacionam nesse caso. Em síntese, os testes com carvão ativado não resolveram o problema, ao passo que a quebra de emulsão por ajuste de pH, seguida de tratamento químico com polímero catiônico e blends orgânicos e inorgânicos e de decantação, trouxe resultado satisfatório. Também discutimos a proposta de implantação do sistema em dois tanques de 5.000 litros com bomba dosadora, e como esse tipo de situação pode servir de tema para o ensino de Química.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, com características de estudo de caso e de análise documental (GODOY, 1995), desenvolvida em uma tinturaria de fios de uma indústria têxtil localizada em Caruaru-PE. Os dados vieram do acompanhamento direto dos testes de tratamento do efluente, até fevereiro de 2026, e do relatório técnico elaborado ao final desse processo, datado de 27 de fevereiro de 2026, que reúne o histórico das tentativas, o procedimento definido e a proposta de estrutura para o sistema. A análise do material foi feita de forma descritiva e interpretativa, tomando como eixos os quatro componentes da abordagem CTSA.

Os testes foram feitos em escala de bancada, com amostras do efluente coletadas na própria tinturaria. Como a tonalidade dos fios e o tipo de material mudam de um lote para outro, as amostras apresentavam cores, valores de pH e concentrações de corante diferentes entre si. A avaliação do resultado de cada tentativa foi essencialmente visual, observando a cor do líquido após o tratamento, a formação de sólidos e a separação durante a decantação, e registrada por fotografias.

ISSN: 2358-8829

O trabalho teve três momentos. No primeiro, foram feitos três testes internos de adsorção com carvão ativado, cada um em uma condição de pH (baixo, neutro e alto), com o objetivo de verificar se o carvão, usado sozinho, daria conta de remover a carga de corante. No segundo, passou-se a testar um tratamento químico com produtos específicos para a remoção de corantes. A primeira tentativa não deu bom resultado, por causa da alta concentração de corante e de produtos químicos na amostra, e a segunda, feita em outro dia e depois de ajustes na condição do efluente, foi satisfatória e permitiu definir o procedimento técnico, com resultado promissor em 25 de fevereiro de 2026. No terceiro momento, a partir do que foi aprendido, elaborou-se a proposta de implantação estrutural do sistema.

Para a análise, o conteúdo do relatório e as observações feitas durante os testes foram organizados em quatro grupos, correspondentes à ciência, à tecnologia, à sociedade e ao ambiente. No grupo da ciência entraram as explicações sobre o comportamento do efluente e dos produtos usados. No da tecnologia, as decisões sobre como transformar o procedimento de bancada em uma estrutura operacional. Em sociedade foram reunidos os aspectos econômicos, de trabalho e de relação com a comunidade, e em ambiente os efeitos do descarte e as formas de reduzi-los. Essa separação foi apenas um recurso de organização, pois as quatro dimensões aparecem misturadas na prática.

A pesquisa não envolveu seres humanos nem coleta de dados pessoais, de modo que não houve necessidade de submissão a comitê de ética. Também não são apresentadas imagens neste texto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os corantes sintéticos estão entre os principais responsáveis pela dificuldade de tratar os efluentes da indústria têxtil. Eles foram desenvolvidos para resistir à luz, à lavagem e ao ataque de agentes químicos, e é justamente por isso que também resistem aos processos naturais de degradação quando chegam ao ambiente (GUARATINI; ZANONI, 2000). Kunz *et al.* (2002) lembram que, além da cor, esses efluentes trazem uma carga orgânica considerável e uma composição muito variável, o que exige que o tratamento seja pensado caso a caso e, em geral, combine mais de uma etapa.

Entre as alternativas mais usadas estão a adsorção e os processos físico-químicos de coagulação, floculação e sedimentação. A adsorção em carvão ativado funciona bem em muitos casos, mas depende da relação entre a quantidade de carvão e a de contaminante, e

ISSN: 2358-8829

tende a perder eficiência quando a carga de corante é muito alta (CHAVES; CARVALHO; OLIVEIRA, 2022). Na coagulação, produtos químicos desestabilizam as partículas e moléculas dispersas na água, que se aglomeram em flocos e depois sedimentam, podendo ser separados do líquido clarificado (SCHONS; MARTINS, 2009). Couto Junior, Barros e Pereira (2013) estudaram a coagulação, a floculação e a sedimentação no tratamento de efluente de uma indústria têxtil e chegaram a remoções de cor acima de 99% tanto com sulfato de alumínio quanto com tanino, o que mostra o potencial desse tipo de processo. Como apontam Chaves, Carvalho e Oliveira (2022), "uma vez que cada técnica possui vantagens e desvantagens, deve ser realizada uma avaliação criteriosa para a escolha da técnica apropriada" (CHAVES; CARVALHO; OLIVEIRA, 2022, p. 1133), ressaltando ainda que processos combinados podem superar limitações individuais. O pH é uma variável importante em todo esse conjunto, porque influencia a carga das moléculas e das partículas e, por isso, a eficiência do coagulante.

Quando o efluente contém óleo, é comum que ele se apresente como emulsão, o que atrapalha as etapas seguintes. O tratamento de efluentes oleosos passa pela desestabilização da emulsão, para reduzir o teor de óleo na água, e isso costuma ser feito com coagulantes e floculantes, entre outros reagentes (SCHONS; MARTINS, 2009). No caso aqui relatado, a quebra da emulsão foi obtida por ajuste de pH, e foi essa a etapa inicial do procedimento.

Do lado normativo, a Resolução CONAMA nº 430/2011 determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora só podem ser lançados nos corpos receptores depois do devido tratamento e desde que atendam às condições e aos padrões previstos, entre eles a faixa de pH entre 5 e 9 e a temperatura inferior a 40 °C (BRASIL, 2011). Para uma tinturaria, em que o pH do efluente pode chegar a valores bem afastados dessa faixa, isso significa que o ajuste de pH é uma exigência do próprio sistema, e não só uma etapa do processo químico.

No campo da educação em ciências, o movimento CTS surgiu em oposição à ideia de que o avanço científico e tecnológico, por si só, leva ao bem-estar social. Auler e Bazzo (2001) destacam que ele propõe discutir as relações entre ciência, tecnologia e sociedade de forma crítica, a partir de problemas reais. Santos e Mortimer (2000) apontam que a abordagem CTS busca formar o cidadão para a tomada de decisão, e Santos (2007) defende a contextualização do ensino de ciências por meio de temas sociais, numa perspectiva crítica. A sigla CTSA acrescenta o ambiente a esse conjunto, deixando mais explícita a preocupação com os impactos das atividades humanas sobre os recursos naturais. Um problema como o tratamento de efluentes têxteis é um bom exemplo, porque a química explica o que acontece

ISSN: 2358-8829

no tanque, a tecnologia define como tratar, a sociedade sente os efeitos econômicos e sociais da atividade e o ambiente recebe, ou não, o resíduo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em três categorias: a caracterização do efluente, o percurso dos testes de tratamento e a proposta de implantação do sistema. Em seguida, discutimos o caso à luz da abordagem CTSA.

Sobre a caracterização, o efluente da tinturaria mostrou grande variabilidade, o que já era esperado pela literatura (KUNZ *et al.*, 2002). Ela depende principalmente da tonalidade aplicada aos fios e do tipo de material tingido. Em alguns lotes foi observada emulsão por resíduo de óleo, o pH variou bastante, podendo ser ácido ou básico, e a carga de corante foi alta. Essa instabilidade foi importante para a pesquisa, porque deixou claro que a solução não poderia ser uma receita única e fixa. O sistema proposto precisaria tratar todo o efluente da tinturaria em um mesmo espaço operacional, mesmo com essas oscilações.

Quanto aos testes, os três ensaios com carvão ativado, em pH baixo, neutro e alto, não deram resultado satisfatório. Mudar o pH não alterou o quadro, e a concentração de corante era tão elevada que o carvão ativado, sozinho, não conseguiu promover a remoção de forma eficiente. A conclusão foi que o uso exclusivo desse material não atenderia a demanda do tratamento, independentemente da faixa de pH. Esse resultado negativo teve valor para o trabalho, já que descartou um caminho que, à primeira vista, parecia o mais simples e barato.

Na sequência, o tratamento químico passou por duas tentativas. A primeira também não foi promissora, o que atribuímos à elevada concentração de corante e de produtos químicos na amostra. Depois de uma análise técnica e de ajustes na condição do efluente, a segunda tentativa, feita em outro dia, apresentou resultado satisfatório. Isso mostra que o êxito do tratamento dependia tanto dos produtos escolhidos quanto do preparo da amostra, e que o erro da primeira tentativa foi decisivo para entender o processo.

O procedimento definido tem duas etapas. A primeira é a quebra da emulsão, necessária nos casos em que há óleo. Ela é feita por ajuste extremo de pH: reduz-se o pH para a faixa de 1,0 a 1,5 com ácido sulfúrico ou ácido clorídrico e, depois, eleva-se com soda cáustica até a neutralidade ou próximo dela. Esse caminho desestabiliza a emulsão e deixa o efluente em condições de receber a etapa química seguinte. A segunda etapa é a remoção dos corantes, com a aplicação de polímero catiônico e de blends orgânicos e inorgânicos, que

ISSN: 2358-8829

promovem a quebra das moléculas de corante e a formação de sólidos, os quais são separados por decantação. O tempo de decantação não é longo, mas é indispensável para que a separação seja eficiente. Na amostra tratada, observou-se visualmente a separação entre o material sólido e o líquido sobrenadante, que ficou com a cor mais clara do que a do efluente original. Cabe dizer que a avaliação foi visual, e que ainda são necessárias análises quantitativas, como medidas de cor, de demanda química de oxigênio e de pH final, para comparar o efluente tratado com os padrões da Resolução CONAMA nº 430/2011.

A proposta de implantação surgiu como consequência direta do procedimento. Como o tratamento tem tempos de reação e de decantação que precisam ser respeitados, e a tinturaria continua gerando efluente durante todo esse tempo, sugeriu-se a instalação de dois tanques de 5.000 litros, exclusivos para a tinturaria, que funcionam alternadamente como pulmão operacional. O efluente é enviado ao primeiro tanque até completar o volume e, quando isso acontece, começa o tratamento nele, enquanto o efluente que continua sendo gerado vai para o segundo. Terminado o tratamento no primeiro, ele volta a ficar disponível para encher, e o segundo entra em tratamento. Com isso se garante a continuidade do recebimento, o respeito ao tempo de reação e de decantação, mais organização e controle da operação e maior eficiência.

Propõe-se também uma bomba dosadora programável, que aplicaria os produtos de modo automático e preciso, conforme o volume de cada batelada de 5.000 litros, tanto para o ajuste de pH quanto para a quebra das moléculas de corante. Os ganhos esperados são a padronização do tratamento, a redução de falhas operacionais e mais segurança no manuseio dos reagentes, o que não é detalhe, já que se trabalha com ácidos fortes e soda cáustica.

Vale observar que a etapa de quebra da emulsão é a que mais exige cuidado. Levar o efluente a pH entre 1,0 e 1,5 e depois trazê-lo de volta à neutralidade significa manipular volumes grandes de ácido forte e de base forte, com liberação de calor e risco de respingos. Em uma batelada de 5.000 litros, fazer isso manualmente seria pouco prático e perigoso. Esse é um dos motivos pelos quais a dosagem automática deixou de ser um acessório e passou a ser vista como parte do sistema. Além disso, como o efluente muda de acordo com a cor do fio que está sendo tingido, a programação da bomba precisará ser revista conforme o tipo de lote, e isso só poderá ser definido com mais ensaios.

Na análise pela abordagem CTSA, o componente científico aparece na compreensão do que é o efluente e como cada etapa funciona. É preciso saber por que o carvão ativado falhou diante da alta concentração de corante, o que significa levar o pH a uma faixa extrema

ISSN: 2358-8829

e depois neutralizar, e como os polímeros catiônicos, por terem carga positiva, interagem com moléculas de corante de carga oposta, em geral aniônicas, e favorecem a formação de flocos. São conteúdos que fazem parte da formação em Química, como equilíbrio ácido-base, interações eletrostáticas, adsorção e separação de misturas, e que, aqui, ganham sentido concreto.

O componente tecnológico está na passagem do conhecimento de bancada para uma estrutura que funcione no dia a dia da fábrica. Os dois tanques alternados e a bomba dosadora são soluções de engenharia para um problema que a química sozinha não resolve, já que de nada adianta uma boa reação se o sistema não consegue receber um fluxo contínuo de efluente. Isso mostra que a tecnologia não é só aplicação da ciência, pois envolve decisões de custo, de operação e de segurança.

No componente social, é importante lembrar que a tinturaria faz parte de uma cadeia produtiva da qual dependem muitas famílias na região. Tratar o efluente não é apenas cumprir uma exigência legal, mas também manter a atividade econômica em condições aceitáveis para a comunidade que vive perto dos corpos hídricos afetados. Há ainda a dimensão do trabalhador, que lida diariamente com os reagentes e se beneficia de processos mais seguros e padronizados. Por fim, a experiência mostra um tipo de aprendizado coletivo, pois a solução veio de tentativas, falhas e ajustes feitos por pessoas de áreas diferentes, o que é bem próximo do que Auler e Bazzo (2001) defendem quando falam de participação e de decisões que não ficam restritas a especialistas.

Também vale destacar o caminho percorrido até o resultado. O relatório registra que o processo foi fruto de várias tentativas, testes internos, falhas técnicas, pesquisas, ajustes e validações sucessivas. Para a abordagem CTSA, isso é importante porque aproxima a ciência da forma como ela realmente se faz, com erros, correções e decisões tomadas com informação incompleta, e afasta a imagem de uma ciência linear e sem dúvidas. Os três ensaios com carvão ativado e a primeira tentativa do tratamento químico, embora tenham dado resultado ruim, foram o que permitiu entender a influência da concentração do efluente e, assim, chegar ao procedimento final. Essa busca por inovações e alternativas metodológicas se alinha ao cenário atual da Engenharia Química, no qual pesquisas recentes buscam tecnologias complementares e reutilização da água, a exemplo de Dantas (2025), que enfatiza a necessidade de "desenvolver novas tecnologias que tornem o tratamento desses efluentes mais eficiente e sustentável" (DANTAS, 2025), integrando o avanço científico ao reuso hídrico e à diminuição dos impactos ambientais na região.

ISSN: 2358-8829

O componente ambiental é o que dá razão a todo o resto. Tratar o efluente antes do descarte reduz a carga de cor, de sólidos e de compostos químicos que chegariam à água, o que diminui o impacto sobre os corpos hídricos e se alinha à ideia de gestão ambiental no setor. Também é preciso reconhecer que o tratamento gera lodo, ou seja, um resíduo sólido que precisa de destinação adequada, e que o uso de ácidos e de soda cáustica tem seus próprios riscos. A abordagem CTSA ajuda a enxergar isso, porque impede que o tratamento seja visto como solução perfeita e lembra que toda tecnologia traz consequências.

Do ponto de vista da formação de professores, o caso tem potencial como tema contextualizador (SANTOS, 2007). Ele permite trabalhar conteúdos de Química a partir de um problema da própria região dos estudantes, abre espaço para discutir legislação ambiental e responsabilidade social das empresas e mostra que os resultados negativos, como o do carvão ativado, fazem parte da construção do conhecimento. Para os licenciandos que assinam este texto, acompanhar a situação por esse ângulo foi uma forma de aproximar o que se estuda na universidade do que acontece fora dela.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostrou que o efluente da tinturaria analisada pede um tratamento que seja capaz de contemplar a sua variabilidade, e que o carvão ativado usado, isoladamente, não foi suficiente diante da alta carga de corante. O procedimento que apresentou resultado satisfatório combinou a quebra da emulsão por ajuste de pH com o uso de polímero catiônico e blends orgânicos e inorgânicos, seguido de decantação. A proposta de dois tanques de 5.000 litros com bomba dosadora programável foi pensada para tornar esse tratamento contínuo e controlado.

A abordagem CTSA ampliou a análise, porque levou a olhar para além da reação química e a considerar a tecnologia, as pessoas e o ambiente envolvidos. Dessa forma, a experiência na tinturaria reuniu conhecimento científico, solução técnica, relevância social e preocupação ambiental e pode ser aproveitada como tema contextualizado no ensino de Química.

Como limitação, os resultados aqui apresentados se baseiam em testes de bancada avaliados visualmente, em uma única indústria. São necessárias novas pesquisas, com análises quantitativas do efluente antes e depois do tratamento, estudo da dosagem ideal dos produtos para diferentes tonalidades de fios, avaliação do custo do sistema e definição da destinação do

lodo gerado. Também seria interessante aplicar a experiência em sala de aula e investigar o que ela traz para a aprendizagem dos estudantes. Espera-se que este trabalho contribua para a identificação de alternativas que reduzam os impactos ambientais e melhorem a gestão dos resíduos no setor têxtil.

Palavras-chave: indústria têxtil; tratamento de efluentes; abordagem CTSA; sustentabilidade; gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 maio 2011.

CHAVES, N. O.; CARVALHO, L. C. F.; OLIVEIRA, R. M. P. B. As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 6, p. 1133-1143, 2022.

COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 83-88, 2013.

DANTAS, É. J. M. **Desenvolvimento de membranas fotocatalíticas para o tratamento de efluentes e reuso de água na indústria têxtil**. 2025. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2025.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

KUNZ, A. *et al*. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, Campinas, v. 1, n. especial, 2007.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 133-162, 2000.

ISSN: 2358-8829

SCHONS, E. M.; MARTINS, J. Desestabilização de emulsões. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 64., 2009, Belo Horizonte. **Anais [...]**. São Paulo: ABM, 2009. p. 3849-3860.