



LUCAS MATEUS RODRIGUES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE CORTINAS DE FILTRAÇÃO EM BACIAS
DE SEDIMENTAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE
MINERAÇÃO**

São Luís

2025

LUCAS MATEUS RODRIGUES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE CORTINAS DE FILTRAÇÃO EM BACIAS
DE SEDIMENTAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE
MINERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Colegiado de Curso da Engenharia Química do
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da
Universidade Federal do Maranhão, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma de Graduação
em Engenharia Química.

Orientador: Profa. Dra. Audirene Amorim Santana

Coorientador: Prof. Dr. Dennys Correia da Silva

São Luís

2025

Rodrigues da Silva, Lucas Mateus. AVALIAÇÃO DE CORTINAS DE FILTRAÇÃO EM BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO / Lucas Mateus Rodrigues da Silva. - 2025.

66 f.

Coorientador(a) 1: Dennys Correia da Silva.

Orientador(a): Audirene Amorim Santana. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Barreiras de Contenção. 2. Cortinas de Turbidez. 3. Sedimentação. 4. Turbidez. 5. Floculantes. I. Amorim Santana, Audirene. II. Correia da Silva, Dennys. III. Título.

BANCA EXAMINADORA:

Profª. Dra. AUDIRENE AMORIM SANTANA
Orientadora – DEEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. HARVEY ALEXANDER VILLA VELÉZ
DEEQ/CCET/UFMA

Mestre MEYRELLE FIGUEIREDO LIMA
PPGEQ/CT/UFRN

07 de fevereiro de 2025

DADOS CURRICULARES

Lucas Mateus Rodrigues da Silva

NASCIMENTO	04/01/1999 – SÃO LUÍS / MA
FILIAÇÃO	João Lucas Ferreira da Silva Maria do Rosário Ribeiro Rodrigues
2018/2025	Curso de Graduação Engenharia Química - Universidade Federal do Maranhão

*Dedico este trabalho aos meus pais, que
sempre confiaram na força
transformadora da educação.*

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e em primeiro lugar agradeço a Deus, razão de tudo e de todos nós.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dennys Correia da Silva e orientadora Profa. Dra. Audirene Amorim Santana , pelo incentivo, orientação e auxílio.

A minha mãe, Maria do Rosário, ao meu pai, João Lucas e minha irmã Leticia Maria, por sempre estarem presentes e dando apoio na minha caminhada durante o curso.

A minha namorada , Sabryna Moraes Goveia, por sempre estar presente na minha vida acadêmica e pessoal.

SILVA, L. M. R. **Avaliação de cortinas de filtração em bacias de sedimentação em uma indústria de mineração.** 2025. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

RESUMO

Este trabalho analisa a eficiência de barreiras físicas de contenção, compostas por cortinas de filtração, em uma bacia de sedimentação situada a jusante de uma área de resíduos de bauxita em uma refinaria de alumínio em São Luís, Maranhão. O foco principal foi o controle da turbidez e a retenção de sólidos suspensos. As cortinas atuam como barreiras que reduzem o fluxo de água e promovem a sedimentação de partículas, permitindo a passagem de água clarificada. Contudo, apresentam limitações, como a baixa eficiência na retenção de partículas finas e a necessidade de tempo prolongado de contato com o fluido. A metodologia incluiu a instalação das barreiras e a análise de sólidos sedimentáveis e turbidez, com o uso de cones de *Imhoff* e turbidímetro de bancada. Os resultados mostraram uma redução de 4,8% na concentração de sólidos sedimentáveis e de 13,3% na turbidez. Apesar disso, os dados indicam a necessidade de uso de floclulantes para melhorar a eficiência, devido à granulometria fina dos sedimentos. Estudos adicionais são necessários para otimizar a clarificação da água e ajustar os sistemas de isolamento e drenagem, conforme os padrões da Resolução CONAMA nº 430/2011.

Palavras-Chave: barreiras de contenção, cortinas de turbidez, sedimentação, turbidez, floclulantes.

SILVA, L. M. R. **Avaliação de cortinas de filtração em bacias de sedimentação em uma indústria de mineração.** 66 f. 2025. Undergraduate Thesis in Chemical Engineering, Center for Exact Sciences and Technology, Federal University of Maranhão, São Luís, 2025.

ABSTRACT

This study analyzes the efficiency of physical containment barriers, composed of turbidity curtains, in a sedimentation basin located downstream of a bauxite waste disposal area in an aluminum refinery in São Luís, Maranhão. The main focus was on turbidity control and the retention of suspended solids. The curtains function as barriers that reduce water flow and promote the sedimentation of particles, allowing the passage of clarified water. However, they have limitations, such as low efficiency in retaining fine particles and the need for extended contact time with the fluid. The methodology involved the installation of the barriers and the analysis of settleable solids and turbidity, using Imhoff cones and a bench turbidimeter. The results showed a 4.8% reduction in settleable solids concentration and a 13.3% reduction in turbidity. Despite this, the data suggest the need for the use of flocculants to improve efficiency due to the fine granulometry of the sediments. Further studies are needed to optimize water clarification and adjust isolation and drainage systems, in accordance with the standards established by CONAMA Resolution No. 430/2011.

Keywords: containment barriers, turbidity curtains, sedimentation, turbidity, flocculants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem do geotêxtil não tecido.....	8
Figura 2 - Ilustração do geotêxtil tecido.....	10
Figura 3 - Montagem da cortina de filtração.	24
Figura 4 - Área de resíduos de bauxita.	26
Figura 5 - Vista geral da bacia de sedimentação localizada a jusante da área de disposição de resíduos de bauxita, no município de São Luís, Maranhão.	28
Figura 6 - Transporte e posicionamento da barreira flutuante utilizando cabo guia.	31
Figura 7 - Montagem e conexão dos módulos da barreira flutuante.	31
Figura 8 - Ajuste final e união das seções da barreira flutuante.	32
Figura 9 - Cortinas de contenção instaladas e em operação no local de estudo, com os pontos de monitoramento visíveis ao fundo, evidenciando a instalação em pleno funcionamento.	34
Figura 10 - Avaliação gráfica da turbidez antes e após a passagem pelas cortinas de contenção.	37
Figura 11 - Retenção de camada oleosa na primeira cortina de contenção.	38
Figura 12 - Pontos de coleta utilizados no monitoramento da eficiência das barreiras, localizados estrategicamente antes e após o sistema de contenção.	41
Figura 13 - (a) Amostras de água coletadas posicionadas nos cones Imhoff, demonstrando o processo de sedimentação dos sólidos em repouso; (b) Comparação visual do volume de sólidos sedimentados nos cones Imhoff para amostras coletadas antes e após as barreiras, evidenciando a eficiência na retenção de partículas.	41
Figura 14 - Pontos de análise recomendados para a manutenção das cortinas durante o período com a bacia cheia, evidenciando os locais críticos para inspeção da ancoragem, amarração e tela.	44
Figura 15 - Ilustração do procedimento correto de amarração das seções das cortinas, garantindo a estabilidade e a segurança do sistema mesmo sob condições adversas.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medições de turbidez em diferentes intervalos de tempo e volumes de amostra após a filtração.	36
Tabela 2: Eficiência Percentual de Remoção de Turbidez pelas Cortinas de Contenção em Função do Tempo de Filtração.	36
Tabela 3: Volume de Sólidos Sedimentáveis (mL/L).	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Turbidez.....	4
3.2 Sólidos em suspensão	6
3.2.1 ANÁLISES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	6
3.3 Análise de geotêxtil	7
3.3.1 GEOTÊXIL NÃO TECIDO	8
3.3.2 GEOTÊXIL TECIDO	9
3.4 Bacia de sedimentação.....	11
3.4.1 TIPOS DE BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO.....	13
3.5 Resíduos de mineração de bauxita	22
3.5.1 RESÍDUOS DE REFINO DE BAUXITA	23
3.5.2 DISPOSIÇÃO EM LAGOAS	23
3.6 Cortina de filtração	
3.7 Áreas de resíduos de bauxita	26
4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	27
4.1 Caracterização da Área de Estudo e Condições Ambientais	27
4.2 Materiais e Métodos de Instalação	28
4.2.1 MATERIAIS UTILIZADOS	29
4.2.2 ETAPAS DE INSTALAÇÃO.....	30
4.3 Operação e Monitoramento	
.....	32
4.3.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	32
4.3.2 ANÁLISE E RELATÓRIOS	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 Análise de turbidez	35
5.2 Análise de Sólidos Suspensos	39
5.3 Usabilidade e manutenção das cortinas de controle de turbidez.....	42

5.3.1 METODOLOGIA DE ATIVIDADES PARA PERÍODO COM A BACIA CHEIA	42
5.3.2 METODOLOGIA DE ATIVIDADES PARA PERÍODO SECO.....	43
5.3.3 DIRETRIZES DE MANUTENÇÃO	44
6. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Em 1984, com o início das operações de uma refinaria de alumínio, foi implementado um projeto voltado à gestão dos resíduos gerados durante o processo de refino da bauxita. Conforme detalhado por Lopes (2022) em estudo técnico sobre o tema, esses resíduos passaram a ser armazenados em áreas especificamente projetadas para sua deposição, denominadas Áreas de Resíduos de Bauxita (ARBs). A construção dessas áreas levou em consideração projeções relativas à produção da refinaria, às taxas de geração de resíduos e à curva de enchimento dos reservatórios, assegurando, assim, uma gestão eficiente e segura ao longo do tempo.

A refinaria dispõe de nove estruturas destinadas ao acondicionamento de resíduos, com a décima ARB em processo de construção. O sistema de uma ARB contempla bacias de sedimentação, localizadas em pontos baixos da planta, ao redor da área destinada ao armazenamento dos resíduos. Essas bacias armazenam a água de chuva que escoam da área de construção e promovem a sedimentação das partículas, antes de liberar a água para os corpos hídricos próximos à propriedade da refinaria. Durante a execução dessas obras, atividades como terraplanagem e movimentação de solo geram partículas que escoam para as bacias, necessitando de tratamento adequado.

Entretanto, devido à elevada concentração de partículas, o processo de sedimentação, que deveria ocorrer nas bacias, apresenta uma taxa de eficiência reduzida e, em determinadas situações, não se adequa à velocidade de escoamento da água. Isso pode resultar no lançamento de um fluido com elevada turbidez nos corpos hídricos adjacentes (Moura, 2024).

A refinaria está circundada por rios e lagos com características físico-químicas específicas, tais como pH próximo à neutralidade e baixos níveis de sólidos dissolvidos, parâmetros esses que se mostram relevantes para a preservação da biodiversidade local. Em conformidade com a Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011), que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, o Córrego Pedrinhas, principal receptor da água proveniente da bacia de sedimentação BS-07, deve receber efluentes com turbidez máxima de 40 NTU.

Esse limite de turbidez foi monitorado por meio de medições semanais com o uso de um turbidímetro de bancada, conforme descrito na metodologia do estudo. Durante o monitoramento, os resultados indicaram que, em algumas ocasiões, a turbidez medida ultrapassou o limite estabelecido, o que ressaltou a necessidade de complementar o sistema com processos de floculação, a fim de garantir a conformidade contínua com os padrões ambientais

exigidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que classifica o Córrego Pedrinhas como água doce de Classe (CONAMA, 2005).

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INMET, a cidade de São Luís apresenta um regime de chuvas sazonais, com precipitações intensas concentradas entre os meses de dezembro e maio. Essa característica climática exerce influência direta sobre a quantidade de partículas transportadas para a bacia de sedimentação (BS), impactando, assim, a eficiência do sistema de filtração, durante este período, o volume de chuvas pode ultrapassar 300 mm por mês, conforme dados históricos do INMET, resultando em maior escoamento superficial e, conseqüentemente, no transporte de sedimentos para a bacia. Esse aumento na carga de partículas eleva a turbidez da água e reduz a eficácia das barreiras físicas, exigindo uma maior frequência de manutenção e, possivelmente, o uso de métodos complementares, como floculantes, para garantir a conformidade com os padrões ambientais estabelecidos (INMET, 2023).

Dessa maneira, foi necessário implementar um sistema de filtragem e retenção com maior eficiência, por meio do uso de cortinas de controle de turbidez, que atuam como barreiras físicas dentro das bacias, retendo as partículas em sua estrutura e, potencialmente, resultando na redução da turbidez na saída das bacias.

O presente estudo foi conduzido de forma experimental, englobando a instalação das cortinas de turbidez e a execução de um plano de monitoramento contínuo, com coletas e análises semanais. Foram realizadas medições de sólidos sedimentáveis, utilizando cones de *Imhoff* e análises de turbidez, empregando um turbidímetro de bancada, seguindo metodologias padrão, a fim de avaliar a eficiência do sistema implementado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência na remoção de partículas sedimentáveis de cortinas de filtração no tratamento de efluentes de uma indústria de mineração. A solução visa otimizar o controle da turbidez nos efluentes e garantir que os índices de turbidez estejam em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (turbidez máxima de 40 NTU), reduzindo, assim, os impactos ambientais nos corpos hídricos adjacentes.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a performance das barreiras de material geotêxtil na redução de turbidez em bacias de sedimentação, conforme os parâmetros da Resolução CONAMA nº 430/2011.
- Mensurar a quantidade de sólidos em suspensão na saída da bacia de sedimentação, visando uma redução de 20%, por meio da instalação de duas barreiras de contenção.
- Verificar a eficácia da solução no controle de turbidez e na preservação da qualidade da água dos corpos hídricos adjacentes à refinaria.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Turbidez

A turbidez é uma característica física essencial da água, que reflete sua clareza ou transparência, sendo definida como a medida da presença de partículas suspensas que interferem na passagem da luz (De Lima; De Souza; Martins, 2021). A presença dessas partículas, como argila, matéria orgânica, micro-organismos ou detritos, dificulta a penetração da luz na água, prejudicando sua clareza. Nesse sentido, a turbidez é amplamente reconhecida como um indicador relevante da qualidade da água, uma vez que níveis elevados de turbidez podem estar associados a problemas ambientais e sanitários, como o aumento de patógenos e a deterioração de ecossistemas aquáticos (Rios et al., 2022).

A monitorização da turbidez é uma prática comum em estações de tratamento de água e esgoto, desempenhando um papel fundamental no controle da qualidade da água e na proteção da saúde pública (Oliveira et al., 2023). Para a análise da turbidez, utiliza-se o turbidímetro, um instrumento que mede o espalhamento de um feixe de luz ao atravessar a amostra de água e compara este espalhamento com o produzido por uma suspensão padrão de turbidez conhecida (Werneck, 2024). A intensidade do espalhamento da luz está diretamente relacionada à concentração de partículas na amostra, sendo expressa em unidades de turbidez (UNT), com maior espalhamento de luz indicando maior turbidez. Vale destacar que a cor da água pode interferir na medição da turbidez, uma vez que as substâncias coloridas tendem a absorver a luz, afetando a precisão da leitura (Schorr, 2022).

Segundo Rocha (2019), a turbidez é uma ferramenta crucial para a avaliação ambiental, pois possibilita a detecção de materiais particulados na água. Em termos técnicos, quanto maior a quantidade de partículas presentes na amostra, maior será o espalhamento da luz, o que resultará em níveis mais elevados de turbidez (Bicalho, 2020). De acordo com a teoria de Rayleigh, a turbidez é gerada quando a dimensão das partículas é muito inferior ao comprimento de onda da luz, ou seja, quando o parâmetro α (razão entre o tamanho das partículas e o comprimento de onda) é muito menor que 1 (Moreira et al., 2023). Nesse cenário, a dispersão da luz ocorre à medida que as ondas luminosas interagem com partículas ou moléculas, provocando o espalhamento do feixe de luz em diversas direções (Pinheiro et al., 2022).

No espectro da luz visível e do infravermelho próximo, esse tipo de dispersão é predominantemente causado por moléculas gasosas presentes na atmosfera. Por serem menores que o comprimento de onda da luz nessas faixas, essas moléculas são responsáveis pela dispersão característica observada nesse intervalo do espectro (Gaida et al., 2020). A radiação dispersa é reemitida em todas as direções, com maior intensidade ao longo da direção do feixe incidente. Este fenômeno é descrito pela teoria de Mie, que se aplica quando as partículas possuem dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz. Neste caso, o valor de α encontra-se entre 0,1 e 50. De acordo com essa teoria, partículas de maior tamanho causam um maior espalhamento da luz no sentido da luz incidente, enquanto a dispersão em direções opostas é menos pronunciada. A intensidade desse efeito depende da distribuição, do tamanho e da densidade das partículas presentes (Valdivia, 2020).

No contexto atmosférico, a dispersão de Mie é comumente observada em fenômenos como neblina e nevoeiro, que são compostos por pequenas partículas suspensas no ar (Santos, 2024). A turbidez da água, em particular em corpos hídricos como rios e lagos, é frequentemente impactada por diversos fatores ambientais e antropogênicos. Conforme relatado por Corrêa et al. (2022), processos erosivos no solo, o despejo de efluentes industriais e o crescimento de algas são as principais causas da turbidez em ambientes aquáticos. A erosão do solo, por exemplo, transporta sedimentos finos como argila e silte para os rios, aumentando a turbidez e reduzindo a penetração de luz, o que prejudica a fotossíntese de organismos aquáticos (Corrêa et al., 2022).

Além disso, os efluentes industriais, ao introduzirem matéria orgânica e inorgânica, assim como compostos químicos na água, agravam o nível de turbidez e alteram as propriedades físico-químicas da água, tornando-a inadequada para consumo e para a manutenção de ecossistemas saudáveis (Jesus, 2024). O crescimento excessivo de algas, frequentemente exacerbado pela eutrofização, também contribui para o aumento da turbidez, uma vez que a decomposição da matéria orgânica resulta na liberação de mais partículas suspensas (Jesus, 2024).

Em síntese, a interação desses fatores pode intensificar os impactos ecológicos e deteriorar a qualidade da água, comprometendo a oxigenação dos ecossistemas aquáticos e afetando diretamente os usos humanos da água. Diante disso, é fundamental compreender as causas e os efeitos da turbidez para desenvolver estratégias eficazes de mitigação e preservação, garantindo assim a sustentabilidade ambiental e a qualidade dos recursos hídricos (Dezorzi, 2021).

3.2 Sólidos em suspensão

Os sólidos em suspensão (SS) são partículas presentes em líquidos que não se dissolvem e permanecem suspensas devido a forças, como turbulência ou baixa densidade relativa. Esses sólidos podem incluir matéria orgânica, minerais, microrganismos e resíduos industriais, sendo um parâmetro essencial na avaliação da qualidade da água. Em sistemas de tratamento, a remoção de sólidos em suspensão é crucial, pois sua alta concentração pode prejudicar processos subsequentes, como a filtração e desinfecção, além de contribuir para a turbidez da água, o transporte de poluentes e o assoreamento de corpos d'água. Estudos recentes indicam que a eficiência na remoção desses sólidos pode ser significativamente otimizada por meio de tecnologias como floculação, sedimentação em bacias projetadas e o uso de barreiras de geotêxteis. Essas abordagens integradas proporcionam soluções inovadoras e sustentáveis para o manejo de recursos hídricos (Di Bernardo et al., 2017).

3.2.1 ANÁLISES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

É fundamental compreender que o solo e a água estão entre os recursos naturais mais impactados pela ação humana. Intervenções inadequadas no ambiente, como o desmatamento, a urbanização desordenada e práticas agrícolas impróprias, alteram os processos erosivos naturais, acelerando a degradação dos solos e provocando modificações nos ambientes fluviais de deposição. Essas mudanças podem comprometer o equilíbrio ecológico das bacias hidrográficas, resultando em sérios impactos ambientais, como o aumento da sedimentação e a perda de qualidade da água (Júnior, 2016).

Em regiões com solos altamente erodíveis, a turbidez dos corpos d'água tende a ser elevada, em razão do transporte de partículas finas para os rios e lagos. Esses sólidos suspensos, com diâmetros superiores a 1,2 μm , são compostos principalmente por partículas inorgânicas, como areia, silte e argila, além de substâncias orgânicas, como detritos biológicos, algas e plânctons. Essas partículas são responsáveis pela absorção, reflexão e dispersão da luz, o que contribui diretamente para o aumento da turbidez, afetando a qualidade da água e prejudicando os ecossistemas aquáticos (Libâno, 2016).

3.3 Análise de geotêxtil

O geotêxtil é um material sintético produzido a partir de polímeros como polipropileno e poliéster, disponível em diferentes formas, incluindo tecidos não tecidos, tecidos convencionais e outras estruturas específicas. Este material tem se destacado pela sua versatilidade e ampla aplicação nas áreas de engenharia civil, geotécnica e ambiental (Palmeira, 2018).

Sua utilização abrange diversas funções, como estabilização de solos, controle de erosão, separação de camadas e drenagem, destacando-se pela sua alta resistência, permeabilidade controlada e ótimo custo-benefício. Em projetos de infraestrutura, o geotêxtil é empregado para prevenir a mistura indesejada de solos e para reforçar a base estrutural das obras. No contexto ambiental, ele desempenha um papel importante na proteção de áreas degradadas, além de contribuir para a recuperação de ecossistemas (Rocha; Pereira; Nascentes, 2020).

No setor de mineração, os geotêxteis são amplamente utilizados no desaguamento de rejeitos, bem como em estações de tratamento de água e esgoto. Além disso, sua aplicação no desassoreamento de rios e lagos permite a retenção de sedimentos sólidos enquanto devolve a água filtrada de volta ao ambiente, minimizando assim os impactos ambientais (ISO TS 13434, 2008).

Apesar de sua grande eficácia, o uso de geotêxteis pode ser limitado em ambientes com alta concentração de agentes químicos corrosivos ou em condições mecânicas extremas. Nesses casos, a durabilidade e o desempenho do material podem ser afetados. Dessa forma, é essencial realizar um planejamento técnico detalhado que leve em consideração as condições específicas do projeto, a fim de evitar falhas operacionais e garantir a eficácia do geotêxtil durante sua aplicação (Portelinha; Zanon; Da Rocha, 2024).

A durabilidade dos geotêxteis está diretamente relacionada à sua resistência a condições adversas, como radiação ultravioleta (UV), abrasão e exposição a agentes químicos. Degradações microestruturais, como a alteração das cadeias poliméricas, podem reduzir a resistência mecânica do material, enquanto mudanças macroestruturais, como a perda de permeabilidade, podem comprometer sua funcionalidade. Embora os geotêxteis tragam benefícios ambientais consideráveis, como o controle da erosão e a proteção de ecossistemas, o descarte inadequado desses materiais pode gerar impactos ambientais negativos. Assim, práticas como a reciclagem de geossintéticos usados e o uso de polímeros biodegradáveis têm

se tornado alternativas sustentáveis, alinhando eficiência técnica às exigências ambientais (Guimarães, Mag Geiselly; Alves, 2020).

3.3.1 GEOTÊXTIL NÃO TECIDO

A manta geotêxtil não tecido representada na Figura 1 é uma estrutura sintética permeável, projetada para separar materiais distintos enquanto mantém o fluxo de líquidos, prevenindo acúmulos e problemas associados. Geralmente fabricada com fibras de poliéster devido à sua elevada resistência à tração, também pode ser produzida com polipropileno, material que oferece maior resistência em ambientes com agentes químicos. Sua produção é frequentemente realizada por meio de processos como o agulhamento, no qual agulhas entrelaçam as fibras para formar uma estrutura coesa, e a termofixação, que aplica calor para estabilizar as fibras, garantindo maior uniformidade e durabilidade. Outros métodos de fabricação podem ser empregados, conforme as exigências técnicas de cada aplicação (Palmeira, 2018).

Figura 1 - Imagem do geotêxtil não tecido.



Fonte: GBS Geo (2025).

Embora apresente diversas vantagens, como alta permeabilidade e flexibilidade em diferentes condições de uso, o geotêxtil não tecido possui algumas limitações. Em comparação com os geotêxteis tecidos, ele apresenta menor resistência à tração, o que pode restringir seu uso em projetos que demandam maior robustez estrutural. Além disso, sua exposição prolongada à radiação UV pode acelerar a degradação do material, reduzindo sua vida útil. Esses fatores ressaltam a importância de uma escolha criteriosa do tipo de geotêxtil,

considerando as condições ambientais específicas e os requisitos de desempenho necessários para cada aplicação (Portelinha; Zanon; Da Rocha, 2024).

Em comparação aos geotêxteis tecidos, o geotêxtil não tecido se destaca por sua maior capacidade de retenção de partículas finas e por produzir um percolado mais límpido, o que o torna ideal para aplicações de drenagem e filtração. Contudo, os geotêxteis tecidos oferecem maior durabilidade e resistência a altas cargas mecânicas, embora geralmente apresentem custo mais elevado. Em termos de sustentabilidade, o impacto ambiental do geotêxtil não tecido pode ser reduzido por meio da utilização de polímeros reciclados em sua fabricação, bem como pela adoção de práticas de reciclagem no final de sua vida útil. Tais iniciativas contribuem para a redução do impacto ambiental, alinhando o uso do material a práticas sustentáveis nas áreas de engenharia civil e ambiental (Portelinha; Martins, 2024).

As aplicações da manta geotêxtil são vastas e incluem a separação de materiais, a proteção de geomembranas e dutos, a estabilização de solos, o reforço em pavimentação de vias e sistemas de drenagem, entre outras. Em projetos que utilizam tubos geotêxteis não tecidos, por exemplo, sua capacidade de reter partículas finas e gerar percolado de maior qualidade é altamente valorizada, especialmente em sistemas de drenagem e desaguamento, onde o controle da turbidez e a eficiência na separação são fundamentais (Portelinha; Martins, 2024).

3.3.2 GEOTÊXTIL TECIDO

Os geotêxteis tecidos representados na Figura 2 caracterizam-se por aberturas uniformemente distribuídas ao longo do entrelaçamento dos fios, com tamanhos regulares. Essa configuração proporciona previsibilidade no desempenho do filtro, o que é um fator essencial em diversas aplicações. Durante o processo de filtração, as partículas encontram um percurso no qual se deparam com poros de dimensões variadas. As partículas maiores que o tamanho dos poros são capazes de passar pelos poros maiores, mas acabam sendo retidas pelos poros menores. Esse mecanismo de retenção seletiva é particularmente eficaz em situações que exigem alta precisão na permeabilidade, como sistemas de drenagem em aterros e a proteção de geomembranas, onde é crucial controlar o fluxo de água e reter partículas sólidas. A uniformidade dos poros nos geotêxteis tecidos assegura um desempenho constante e confiável, fator importante em projetos que exigem critérios rigorosos de filtração (Ohira, 2020).

Figura 2 - Ilustração do geotêxtil tecido.



Fonte: GBS Geo (2025).

Além das propriedades de filtração, os geotêxteis tecidos apresentam uma resistência à tração superior quando comparados aos geotêxteis não tecidos de mesma massa por unidade de área, conferindo-lhes maior durabilidade em aplicações que exigem suporte estrutural. Essa durabilidade os torna uma escolha preferencial em projetos de controle de erosão costeira, nos quais enfrentam condições severas, como o impacto das ondas e correntes marítimas, e em construções de vias sobre solos moles, onde é necessário suportar cargas elevadas. Embora o custo inicial desses materiais seja, em geral, mais elevado, o custo-benefício é evidente quando se considera sua maior vida útil e a redução da necessidade de substituição ao longo do tempo (Palmeira et al., 2021).

Estudos mais recentes reforçam as vantagens do uso dos geotêxteis tecidos em diversas aplicações. Por exemplo, na estabilização de encostas, a resistência à tração e a previsibilidade no desempenho de filtração tornam-nos ideais para prevenir a erosão superficial. Em projetos de infraestrutura urbana, como a drenagem de pavimentos, esses geotêxteis controlam eficientemente o fluxo de água e evitam o transporte de partículas finas que podem comprometer a estabilidade das estruturas. Essas características, juntamente com os avanços contínuos no desenvolvimento de novos materiais, posicionam os geotêxteis tecidos como uma solução versátil e confiável nas áreas de engenharia civil e ambiental (ISO 10318:2021; Palmeira et al., 2021).

3.4 Bacia de sedimentação

A bacia de sedimentação desempenha um papel essencial nas estações de tratamento de água e efluentes, sendo projetada para remover sólidos suspensos e reduzir a turbidez da água. Seu funcionamento baseia-se no princípio da gravidade, permitindo que as partículas sólidas se depositem no fundo do tanque, resultando em uma água mais clara e de melhor qualidade (Muniz, 2021). Este processo é fundamental para garantir a potabilidade da água e a eficiência no tratamento de efluentes, especialmente em contextos industriais e ambientais.

Nos últimos cinco anos, diversas pesquisas têm sido realizadas para explorar a eficiência das bacias de sedimentação no controle da turbidez. Estudos recentes destacam a importância de modelos matemáticos para descrever a dinâmica das correntes de turbidez e otimizar o processo de sedimentação (Schlesner et al., 2022). Esses modelos têm sido fundamentais para melhorar a previsão de comportamentos da água e otimizar as condições operacionais das bacias de sedimentação.

Além disso, a instalação de sensores analíticos de turbidez nas etapas de captação e tratamento tem se mostrado eficaz no monitoramento em tempo real da qualidade da água. Esses sensores permitem ajustes imediatos no processo de sedimentação, garantindo que os parâmetros de turbidez se mantenham dentro dos limites estabelecidos pelas regulamentações ambientais e sanitárias (Muniz, 2021).

Em obras que envolvem terraplenagem ou movimentação de solo, como a construção de Áreas de Resíduo de Bauxita, diversas práticas de engenharia são adotadas para controlar a dispersão de partículas finas e a turbidez da água (Silva, 2020). Entre essas práticas, destacam-se a instalação de sistemas de drenagem de águas pluviais e a construção de bacias de sedimentação localizadas a jusante das áreas de escavação. Essas medidas atuam como estratégias mitigadoras, especialmente para chuvas inesperadas que podem prejudicar a qualidade da água (Moreira, 2024).

As partículas sólidas de pequeno diâmetro, conhecidas como "finos", e a turbidez, que representa a redução da transparência da água causada por essas partículas, têm uma grande influência na qualidade da água, tanto em contextos industriais quanto ambientais (Zambrano, 2021). No ambiente aquático, os "finos" podem atuar como vetores de poluentes, incluindo metais pesados e nutrientes, causando impactos adversos nos ecossistemas aquáticos. Esses impactos incluem a diminuição da penetração de luz, prejudicando a fotossíntese de organismos

aquáticos, e a redução da oxigenação da água, essencial para a sobrevivência e o equilíbrio da vida aquática (Aquino, 2024).

As bacias de sedimentação são projetadas para reduzir a velocidade das águas que escoam sobre terrenos sem vegetação, especialmente durante a construção de diques de sedimentação ou outros projetos que envolvem movimentação de solo. A principal função dessas bacias é sedimentar as partículas finas transportadas pela água e direcionar o escoamento das chuvas de maneira controlada, minimizando os impactos ambientais (Hauschild, 2024). O sistema analisado inclui o uso de cortinas de turbidez, sedimentação primária e secundária, diques periféricos (filtrantes e não filtrantes, construídos com solo local) e coletores subsuperficiais (Reis, 2023).

Os diques periféricos das bacias de sedimentação são executados com enrocamento (filtrantes) e com solo local (não filtrantes), sendo revestidos com uma camada dupla de geotêxtil não tecido para retenção dos finos. Esse geotêxtil permite a passagem apenas da água, garantindo que os finos fiquem retidos na bacia (Castro, 2022). Os coletores subsuperficiais são utilizados para coletar a água contida nos sedimentos, permitindo a drenagem do reservatório e contribuindo para a eficiência do processo de sedimentação (Paganini; Bocchiglieri; Pitombo, 2023).

O sistema de sedimentação de finos e controle de turbidez é mantido até que a movimentação de solo seja concluída e todos os sistemas de proteção estejam devidamente implementados, com drenagem superficial e revestimento vegetal (Cunha et al., 2020). Em resumo, as bacias de sedimentação desempenham um papel crucial na remoção eficiente de partículas suspensas e na produção de água de alta qualidade. Avanços tecnológicos e estudos recentes têm aprimorado a eficiência dessas bacias, consolidando-as como uma etapa fundamental no tratamento de água e efluentes (Neto et al., 2024).

A eficiência das bacias de sedimentação depende de diversos fatores, como o tempo de detenção hidráulica, a taxa de sedimentação das partículas e o design da bacia. Pesquisas recentes têm investigado melhorias no dimensionamento e na operação dessas estruturas, com o objetivo de otimizar a remoção de sólidos suspensos e melhorar o controle da turbidez (Oliveira, 2023). Além disso, a incorporação de tecnologias avançadas, como sensores para monitoramento em tempo real da turbidez, tem sido essencial para aumentar a eficácia na gestão da qualidade da água (Santos et al., 2024).

Existem diferentes tipos de bacias de sedimentação, cada uma adequada a contextos específicos. As bacias de sedimentação primárias são utilizadas para remover sólidos mais

densos e de maior tamanho, enquanto as bacias secundárias são responsáveis pela remoção de partículas mais finas e leves (Neto et al., 2024). Além disso, as bacias de sedimentação projetadas para funcionar em conjunto com sistemas de drenagem de águas pluviais são particularmente eficientes em áreas sujeitas a erosão devido à movimentação de solo. A escolha do tipo adequado de bacia de sedimentação é fundamental para garantir a eficiência no controle de turbidez e a proteção dos corpos hídricos adjacentes (Neto et al., 2024).

3.4.1 TIPOS DE BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO

As bacias de sedimentação são estruturas fundamentais para a remoção de sólidos suspensos de líquidos em diversos contextos, como no tratamento de águas e efluentes. Elas são classificadas de acordo com seu formato, o tipo de fluxo hidráulico e a aplicação específica, sendo cada tipo projetado para atender às necessidades particulares de eficiência e capacidade de sedimentação (Silva, 2023).

Um dos tipos mais comuns são as bacias de fluxo horizontal, que são projetadas para áreas amplas, permitindo que a água se desloque horizontalmente. Esse modelo proporciona um tempo de retenção adequado para que as partículas sedimentáveis se depositem no fundo da bacia. As bacias de fluxo horizontal são ideais para processos que exigem uma área extensa e um tempo mais prolongado para a sedimentação das partículas (Serafim, 2023).

Outro tipo amplamente utilizado são as bacias de fluxo vertical, que possuem uma estrutura mais compacta. Nesse modelo, o fluido flui de baixo para cima, o que promove a sedimentação das partículas no fundo do reservatório. Essas bacias são vantajosas em espaços menores, oferecendo uma solução eficaz quando a área disponível é limitada, mantendo a eficiência no processo de sedimentação (Oliveira, 2021).

As bacias circulares ou radiais são especialmente projetadas com um fluxo centrípeto, no qual a água entra na bacia em direção ao centro, onde ocorre a sedimentação das partículas. Esse tipo de bacia é particularmente eficaz para sistemas industriais e estações de tratamento de grande porte, sendo ideal para lidar com grandes volumes de água e altas cargas de sólidos suspensos. A sua capacidade de otimizar o fluxo e a sedimentação torna essas bacias uma escolha comum em instalações de grande escala (De Jesus; Barreto, 2021).

A seleção do tipo de bacia de sedimentação mais adequado depende de diversos fatores, incluindo as características do fluido a ser tratado, o espaço disponível para instalação e as exigências de manutenção do sistema. Cada tipo de bacia possui vantagens específicas, que

devem ser consideradas para garantir a eficiência no tratamento de água ou efluente e a qualidade do produto final (Moraes, 2023). Além disso, fatores como a dinâmica do fluxo, o tempo de detenção hidráulica e a taxa de sedimentação desempenham papéis cruciais na escolha do modelo mais adequado.

Avanços tecnológicos recentes têm possibilitado a integração de elementos de design inovadores, como barreiras internas e dispositivos mecânicos, que visam otimizar a eficiência do processo de sedimentação. Essas inovações têm permitido que as bacias de sedimentação atendam a padrões ambientais cada vez mais rigorosos, oferecendo soluções mais eficazes e sustentáveis para o tratamento de águas e efluentes (Santos, 2024). A aplicação desses dispositivos adicionais melhora não só a eficiência na remoção de sólidos, mas também a sustentabilidade do processo, contribuindo para a redução dos impactos ambientais.

- Bacia horizontal

As bacias de sedimentação horizontais são dispositivos essenciais para o controle da turbidez e a remoção de sólidos suspensos em sistemas de tratamento de águas pluviais e efluentes. Seu funcionamento baseia-se na desaceleração do fluxo de água, o que permite que partículas mais densas, como sedimentos e matéria orgânica, se depositem no fundo da bacia devido à ação da gravidade (Nobre, 2020). Esse processo, embora simples, é extremamente eficaz, transformando águas turvas em efluentes mais claros, ao mesmo tempo que reduz os impactos ambientais a jusante. O princípio de sedimentação horizontal aproveita ao máximo as áreas amplas e o tempo de detenção hidráulica, o que maximiza a eficiência da separação de partículas suspensas (Medeiros, 2022).

Essas bacias são aplicadas em diversos contextos, como obras de terraplenagem, construção de diques, atividades industriais e projetos de drenagem urbana. Durante eventos de chuva intensa, as bacias desempenham um papel mitigador crucial, evitando que grandes volumes de água arrastem partículas finas para os corpos hídricos próximos (Gallo, 2024). Isso contribui significativamente para a preservação da qualidade da água nos rios e lagos, prevenindo a contaminação por materiais indesejáveis.

Além disso, o uso de materiais adicionais, como geotêxteis, tem se mostrado eficaz na retenção de partículas menores, enquanto sistemas de drenagem são empregados para controlar o escoamento, garantindo que a água liberada atenda aos padrões ambientais exigidos. Esses

materiais ajudam a otimizar o processo de sedimentação, tornando-o ainda mais eficiente na remoção de sólidos finos e outros contaminantes (Souza, 2022).

As vantagens das bacias de sedimentação horizontais são amplamente reconhecidas. Elas reduzem substancialmente a turbidez da água, preservam a qualidade dos corpos hídricos e protegem os ecossistemas aquáticos, além de contribuir para o cumprimento de regulamentações ambientais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece limites para turbidez e sólidos suspensos nos corpos d'água do Brasil (Araújo, 2021). Tais estruturas também ajudam a minimizar o assoreamento de rios e reservatórios, promovendo a sustentabilidade dos recursos hídricos a longo prazo (Souza, 2022).

Outro benefício significativo dessas bacias é a sua versatilidade. O design pode ser adaptado para lidar com diferentes volumes de água e tipos de sedimentos, o que torna as bacias horizontais adequadas para uma ampla gama de aplicações e contextos (Silva, 2022). Isso permite que as bacias atendam tanto a grandes projetos industriais quanto a iniciativas de drenagem urbana, com eficiência e flexibilidade.

Contudo, a implementação dessas bacias também apresenta desafios. A manutenção regular é fundamental para evitar o acúmulo excessivo de sedimentos, o que pode comprometer o desempenho da bacia. Para superar essas limitações, tecnologias complementares têm sido incorporadas, como barreiras internas, dispositivos mecânicos e sistemas de monitoramento em tempo real. Essas inovações não só melhoram a eficiência das bacias, mas também garantem a conformidade com normas ambientais cada vez mais rigorosas (Araújo, 2021). A integração de tecnologias avançadas permite uma operação mais eficiente e facilita o cumprimento dos altos padrões ambientais exigidos.

Por fim, as bacias de sedimentação horizontais desempenham um papel vital na gestão de recursos hídricos, especialmente em ambientes sensíveis. Ao desacelerar o fluxo de água e promover a sedimentação natural, essas estruturas contribuem para a proteção ambiental e a preservação da qualidade da água, além de apoiar o cumprimento das legislações ambientais (Augusto, 2023). Sua eficácia é amplificada quando associada a tecnologias modernas, permitindo que esses sistemas atendam às necessidades de projetos complexos e protejam ecossistemas frágeis. Dessa forma, as bacias horizontais continuam a ser uma ferramenta central na busca por práticas de engenharia ambientalmente responsáveis (Cerqueira, 2022).

- Bacia circular

As bacias de sedimentação circulares, também conhecidas como bacias radiais, são estruturas amplamente utilizadas no tratamento de água e efluentes devido à sua eficiência operacional e design altamente funcional. Com um formato circular, essas bacias são projetadas para promover o direcionamento uniforme do fluxo de água em direção ao centro da estrutura, espalhando-o radialmente em direção às bordas (De Souza, 2020). Esse movimento controlado facilita a sedimentação natural das partículas sólidas, permitindo que elas se depositem no fundo da bacia, enquanto a água clarificada é liberada de forma gradual e ordenada, contribuindo significativamente para a redução da turbidez e a remoção de sólidos suspensos em ambientes industriais e urbanos (Braga et al., 2021).

As bacias circulares são especialmente vantajosas em aplicações que envolvem grandes volumes de água, como em estações de tratamento de esgoto e plantas industriais. O seu formato compacto e o fluxo centrípeto garantem uma distribuição uniforme da água, minimizando zonas de baixa eficiência e otimizando o tempo de residência hidráulica. Esse design torna as bacias circulares ideais para processos que exigem alta produtividade, com um mínimo de intervenção operacional (Martins et al., 2022). Além disso, a utilização de raspadores mecânicos para a remoção contínua dos sedimentos acumulados aumenta a eficiência operacional, reduzindo os custos com a manutenção e tornando essas bacias ideais para sistemas que demandam uma operação constante e de alta produtividade (Simões, 2021).

Uma das principais vantagens das bacias circulares é a sua capacidade de atender a demandas de alta eficiência em espaços limitados. O formato circular permite um aproveitamento otimizado do espaço, tornando-as soluções viáveis em locais com disponibilidade restrita de terreno (Martins et al., 2022). Essa característica faz com que as bacias circulares sejam especialmente apropriadas para áreas urbanas ou industriais, onde o espaço para a instalação de grandes sistemas de tratamento é uma preocupação constante. Além disso, sua operação contínua permite o tratamento de grandes cargas de sólidos, o que as torna adequadas para sistemas que exigem soluções robustas e confiáveis, com a capacidade de lidar com grandes volumes de efluentes.

Outro benefício significativo das bacias circulares é a sua adaptação a diferentes condições de fluxo. Esse aspecto permite que sejam aplicadas com eficiência em sistemas que exigem um controle rigoroso da qualidade da água, como no tratamento de efluentes de processos industriais ou de esgoto (Simões, 2021). O design radial também favorece a

modulação do fluxo para garantir a otimização de todo o processo de sedimentação, maximizando a eficiência de separação dos sólidos suspensos.

No que diz respeito à gestão ambiental, as bacias circulares desempenham um papel crucial na mitigação de impactos nos corpos hídricos receptores. Elas ajudam a reduzir a carga de sólidos e controlar a turbidez, prevenindo problemas como o assoreamento e a degradação de ecossistemas aquáticos (Mothé et al., 2024). Além disso, a implementação de bacias circulares está em conformidade com as regulamentações ambientais que estabelecem limites para a descarga de sedimentos nos corpos d'água, como as normas que regulam a qualidade da água e os parâmetros de turbidez (Scapin, 2022). Essas bacias, frequentemente integradas a outras tecnologias, como filtros e barreiras físicas, podem aumentar ainda mais a eficiência no tratamento de água, garantindo a remoção eficaz de sólidos suspensos e outros contaminantes (Herzog, 2020).

Em síntese, as bacias de sedimentação circulares são soluções altamente eficientes e versáteis para a remoção de sólidos suspensos e a melhoria da qualidade da água. Seu design inovador, aliado a tecnologias complementares, atende às exigências de grandes sistemas de tratamento, proporcionando benefícios significativos tanto para a operação de estações de tratamento quanto para a proteção ambiental. A utilização dessas bacias reflete um compromisso com a sustentabilidade, contribuindo para a busca por soluções eficazes na gestão de recursos hídricos e no tratamento de efluentes (De Aguilar et al., 2021).

- Bacia de fluxo vertical

As bacias de sedimentação de fluxo vertical são estruturas projetadas para remover partículas suspensas da água por meio de um fluxo ascendente ou descendente, o que aumenta o tempo de contato entre as partículas e a força gravitacional. Esse design otimiza a sedimentação natural das partículas sólidas, permitindo que elas se depositem no fundo da bacia enquanto a água clarificada é liberada de forma gradual. Essa configuração torna as bacias de fluxo vertical altamente eficazes na remoção de sólidos, especialmente em cenários onde o espaço disponível é limitado. A configuração vertical é uma solução eficaz para locais compactos, pois maximiza o processo de separação sem exigir grandes áreas horizontais (Araújo; Borges, 2021).

Uma das principais vantagens das bacias de fluxo vertical é sua alta eficiência no controle da turbidez, particularmente na remoção de partículas finas. O design dessas bacias

pode ser aprimorado com a adição de dispositivos lamelares, que aumentam a superfície de sedimentação, ou com sistemas que utilizam geotêxteis, que melhoram a retenção de sedimentos (Bezerra, 2024). Essas tecnologias complementares são eficazes na potencialização da clarificação da água, tornando as bacias de fluxo vertical uma escolha comum em estações de tratamento de água potável e esgoto. Sua estrutura compacta e modular facilita a instalação e reduz os custos associados à aquisição de terrenos e à realização de obras civis, o que a torna especialmente útil em ambientes urbanos ou industriais, onde o espaço é um recurso limitado (Santos, 2022).

Apesar das diversas vantagens, as bacias de sedimentação de fluxo vertical também apresentam algumas desvantagens que devem ser consideradas durante a implementação. Uma dessas desvantagens é a complexidade operacional e a necessidade de manutenção, que é mais exigente do que em bacias horizontais. O acúmulo de sólidos no fundo das bacias requer limpeza periódica, o que pode demandar sistemas automatizados, resultando em custos operacionais mais elevados (Pavani; Campos, 2021).

Além disso, a capacidade dessas bacias para lidar com grandes volumes de água pode ser limitada em comparação com outras tipologias de bacias, o que pode restringir sua aplicação em sistemas que exigem alta capacidade de processamento. A sensibilidade a fluxos variáveis também é um ponto crítico, pois oscilações na vazão podem comprometer a eficiência da sedimentação e resultar em níveis de turbidez indesejáveis (Câmara, 2022).

Embora essas limitações existam, as bacias de fluxo vertical continuam sendo uma solução altamente eficiente, especialmente em cenários onde a economia de espaço e a remoção de partículas finas são prioridades. Sua alta eficiência e a possibilidade de integração com tecnologias avançadas tornam essas bacias uma escolha estratégica em projetos de tratamento de água e esgoto, contribuindo significativamente para a sustentabilidade ambiental e para o cumprimento das exigências regulatórias (Muniz, 2021).

Além do mais, a adoção dessas bacias reflete um crescente compromisso com a inovação em práticas de engenharia ambiental, uma vez que sua capacidade de remover sólidos suspensos de maneira eficiente reduz a carga de sedimentos nos corpos hídricos receptores, ajudando a prevenir problemas como o assoreamento de rios e lagos (Locatelli, 2024).

Outro benefício importante das bacias de fluxo vertical é a melhoria na qualidade da água tratada, o que contribui para a preservação dos ecossistemas aquáticos, minimizando os impactos ambientais e protegendo a biodiversidade local. A eficiência desse tipo de bacia em remover sólidos suspensos e outros contaminantes auxilia diretamente na redução da poluição

e no aumento da qualidade da água (Locatelli, 2024). A flexibilidade no design e na aplicação também é uma vantagem significativa, uma vez que as bacias de fluxo vertical podem ser dimensionadas para atender tanto pequenas instalações, como unidades industriais específicas, quanto grandes estações de tratamento de esgoto (Canholi, 2015). Em muitos casos, essas bacias são integradas a sistemas de tratamento mais amplos, como filtros e sistemas de desinfecção por cloro ou radiação ultravioleta (UV), o que melhora ainda mais a eficiência do processo de clarificação e a qualidade da água tratada (Nobre, 2020).

O sucesso na implementação das bacias de sedimentação de fluxo vertical depende de um planejamento cuidadoso, que deve considerar fatores como a carga de sólidos suspensos, a vazão do sistema e as características físicas do fluido a ser tratado. Além disso, a escolha de materiais adequados e a adoção de tecnologias complementares, como os dispositivos lamelares, são fundamentais para garantir a eficiência do sistema. A capacitação da equipe responsável pela operação e manutenção também é essencial para assegurar um desempenho contínuo e reduzir custos associados a falhas operacionais ou intervenções corretivas (Bezerra, 2024).

Em conclusão, as bacias de sedimentação de fluxo vertical representam uma solução inteligente e sustentável para o gerenciamento de águas residuais e efluentes. Elas combinam eficiência, economia de espaço e potencial para integração tecnológica, destacando-se como uma solução moderna para atender às crescentes exigências ambientais e regulatórias. Quando bem projetadas e operadas, essas estruturas não apenas controlam a turbidez de maneira eficaz, mas também promovem benefícios a longo prazo para o meio ambiente e para as comunidades que dependem de recursos hídricos de qualidade (Menuchi, 2021).

- Bacias naturais ou de retenção

As bacias de sedimentação naturais, também denominadas bacias de retenção, são áreas formadas por depressões naturais ou escavações estratégicas, projetadas com o objetivo de reter águas de escoamento superficial carregadas de sedimentos. Sua principal função é proporcionar um ambiente onde as partículas suspensas possam se depositar antes que a água seja liberada para os corpos hídricos receptores, contribuindo para a redução da turbidez e prevenindo o transporte excessivo de sedimentos. Esse processo é essencial para a manutenção da qualidade da água e a preservação dos ecossistemas aquáticos (Moreira, 2024).

Essas bacias se destacam como soluções baseadas na engenharia natural, aproveitando as características do terreno para desacelerar o fluxo de água e prolongar o tempo de residência da água. Esse aumento no tempo de contato favorece a sedimentação das partículas, resultando em uma água mais limpa e com menor quantidade de sedimentos (Jesus, 2021). Sua implementação é particularmente eficaz em áreas com atividades intensas de movimentação de solo, como obras de terraplenagem, mineração ou grandes projetos de infraestrutura, proporcionando um controle natural do escoamento e dos sedimentos (Minella, 2007).

Uma das maiores vantagens das bacias de retenção é sua capacidade de mitigar impactos ambientais, especialmente em regiões afetadas por atividades de construção e outras ações humanas que alteram o solo e a vegetação. Ao reter sedimentos, essas bacias minimizam o transporte de partículas a jusante, prevenindo problemas graves como o assoreamento de rios, a poluição de corpos d'água e o prejuízo para ecossistemas aquáticos sensíveis. A incorporação de vegetação nas margens das bacias potencializa ainda mais sua eficácia. As plantas atuam como filtros biológicos, retendo partículas menores, absorvendo nutrientes em excesso e promovendo a restauração ecológica da área ao redor, o que aumenta a biodiversidade local e a saúde do ambiente (Pontes, 2023).

Contudo, as bacias de sedimentação naturais também apresentam algumas limitações que devem ser cuidadosamente consideradas. Primeiramente, elas exigem uma área significativa para sua implementação, o que pode ser um desafio em áreas urbanizadas ou em terrenos com limitações de uso. Além disso, sua eficiência depende fortemente de condições locais específicas, como a topografia, o tipo de solo e a vegetação disponível, fatores que podem variar consideravelmente de uma região para outra (Larentis, 2004). Outro ponto crítico é a necessidade de manutenção regular, pois o acúmulo de sedimentos ao longo do tempo pode comprometer a funcionalidade da bacia, exigindo operações periódicas de limpeza e remediação para evitar o assoreamento. Isso pode resultar em custos operacionais adicionais, especialmente em projetos de grande porte (Santos, 2024).

Ademais, embora as bacias naturais sejam eficientes na retenção de partículas mais densas, sua capacidade de retenção de sedimentos muito finos é limitada. Em eventos de chuvas intensas, quando o volume de água e a velocidade do escoamento aumentam consideravelmente, essas bacias podem ser incapazes de lidar com a quantidade de sedimentos transportados, o que compromete sua eficácia. Para superar essas limitações, é possível integrar as bacias naturais com outras tecnologias, como barreiras de geotêxteis ou sistemas adicionais

de filtração, aumentando a complexidade do sistema, mas também sua capacidade de retenção (Ornelas, 2024).

Apesar desses desafios, as bacias de sedimentação naturais continuam a ser ferramentas valiosas na gestão de sedimentos e no controle da turbidez, pois combinam eficiência e benefícios ecológicos. Sua contribuição para a preservação ambiental é inegável, uma vez que ajudam a prevenir a poluição de corpos d'água e a restauração dos ecossistemas afetados por atividades humanas. Elas se destacam como uma solução estratégica, particularmente em projetos que buscam alternativas sustentáveis e baseadas na natureza, que aliem o controle de sedimentos à proteção ambiental (Moreira, 2023).

Portanto, para maximizar os benefícios das bacias de sedimentação naturais e minimizar suas desvantagens, é necessário um planejamento criterioso, levando em consideração as condições do local de implantação. A integração com tecnologias complementares e a manutenção adequada são essenciais para garantir a eficácia dessas bacias, tornando-as uma solução robusta e sustentável para o gerenciamento de águas pluviais e o controle de sedimentos (Souza, 2024).

- Bacias móveis ou temporais

As bacias de sedimentação móveis, também conhecidas como bacias temporais, são soluções altamente versáteis e eficazes, projetadas para controlar a sedimentação em atividades de curta duração, como obras de construção civil e mineração. Essas estruturas são instaladas em locais estratégicos para capturar os sedimentos transportados pela água de escoamento durante períodos de chuvas, desempenhando um papel crucial na redução da turbidez e na proteção dos corpos hídricos próximos (Souza, 2021). Elas funcionam como medidas mitigadoras temporárias, garantindo o controle ambiental durante as operações que causam a mobilização do solo (Pavani, 2021).

Uma das principais características das bacias móveis é sua adaptabilidade. Essas estruturas são de fácil instalação, ajustes e desmontagem, permitindo que sejam transportadas e reutilizadas em diferentes locais, o que proporciona uma alternativa prática e econômica para o controle de sedimentos em diversos contextos. Para sua montagem, materiais como geossintéticos leves são comumente empregados, o que facilita a adaptação da bacia ao terreno e ao fluxo de água, tornando o processo de implantação mais ágil e eficiente (Júnior, 2023).

Além disso, a eficácia das bacias móveis pode ser potencializada com a utilização de tecnologias complementares, como barreiras filtrantes e cortinas de turbidez, que contribuem significativamente para a retenção de partículas finas, aprimorando o desempenho geral no controle de sedimentos. Essas tecnologias adicionais ajudam a otimizar a capacidade de retenção da bacia e a garantir que as partículas finas sejam adequadamente capturadas, aumentando a eficiência do sistema de controle (Da Costa et al., 2024).

Entretanto, essas estruturas também apresentam algumas limitações que precisam ser consideradas. Por serem temporárias, as bacias móveis exigem inspeções constantes para garantir seu pleno funcionamento durante o período de uso. Em caso de chuvas intensas ou condições climáticas adversas, a capacidade de retenção dessas bacias pode ser excedida, o que aumenta o risco de liberação de sedimentos para os corpos hídricos próximos. Para evitar esse tipo de problema, é essencial realizar a remoção periódica dos sedimentos acumulados, a fim de preservar a eficácia das bacias e evitar o comprometimento de seu desempenho. Esses processos podem gerar custos adicionais relacionados à operação e à manutenção das bacias móveis (De Mattos; Pinto, 2024).

Apesar dessas restrições, as bacias móveis continuam sendo uma solução prática e eficaz para o controle temporário da turbidez, especialmente em cenários nos quais a flexibilidade e a rapidez na instalação são fundamentais. Sua utilização em conjunto com outras práticas de controle ambiental, como a instalação de barreiras ou a adoção de sistemas de filtragem adicionais, pode potencializar significativamente sua eficácia, tornando-as uma ferramenta indispensável em projetos que visam mitigar os impactos ambientais de maneira sustentável e econômica (De Mattos; Pinto, 2024).

3.5 Resíduos de mineração de bauxita

De acordo com a Associação Brasileira dos Alumínios (ABAL, 2019), durante a etapa primária do beneficiamento da bauxita, o único resíduo gerado a partir da lavagem do minério é a argila, que não contém aditivos químicos. Nos depósitos desses resíduos, a argila é compactada, e uma parte da água é recuperada no processo de beneficiamento, o que resulta na redução do risco de vazamento das barragens, uma vez que a quantidade de resíduos de mineração em estoque diminui, devido à reutilização contínua desses resíduos. Com o passar do tempo, a argila proveniente do beneficiamento da bauxita sofre sedimentação e secagem nos reservatórios, enquanto a água residual vai sendo eliminada gradualmente. Isso cria as

condições necessárias para o replantio da vegetação sobre o depósito, possibilitando a reintegração da área ao meio ambiente da mina explorada.

3.5.1 RESÍDUOS DE REFINO DE BAUXITA

Segundo Gräfe et al. (2011), na etapa de refino da bauxita, que visa a conversão deste minério em alumina, são gerados resíduos altamente alcalinos, em razão do uso de hidróxido de sódio para a extração do hidrato de alumínio $[Al(OH)_3]$. Esses resíduos, além da alcalinidade, contêm concentrações significativas de metais pesados, que estavam presentes como impurezas na bauxita. Conforme a ABAL (2019), os resíduos gerados no refino de bauxita são encaminhados para as Áreas de Disposição de Resíduos de Bauxita (ADRB), que são depósitos de rejeitos líquidos licenciados pelos órgãos ambientais competentes. Essas áreas são projetadas e construídas para atender aos mais altos padrões de segurança da indústria. Após sucessivas lavagens e filtrações, a água armazenada nas ADRB, ainda com traços de alcalinidade, é recirculada no processo de refino.

É relevante destacar que tanto nos depósitos de resíduos de mineração quanto nos de refino de bauxita, o acúmulo de água pode aumentar o risco de vazamento das barragens (Pontes, 2023). Para mitigar esse risco, muitas empresas, segundo a ABAL (2019), adotam ou estão em processo de adoção de práticas que visam reduzir a umidade dos resíduos, facilitando sua compactação nas ADRB e contribuindo para a estabilidade dos depósitos. Além disso, Power et al. (2011) e Miura (2016) apontam que a redução da umidade desses resíduos favorece sua consolidação mais rápida na forma sólida, permitindo a revegetação da superfície do depósito de resíduos de refino de bauxita. Isso, por sua vez, acelera a reintegração da área ao meio ambiente.

3.5.2 DISPOSIÇÃO EM LAGOAS

Power et al. (2011) e Tabereaux (2019) descrevem que no método de disposição de resíduos de bauxita (RB) em lagoas, são construídas barragens ou diques baixos para conter os resíduos, sendo a lama vermelha, com teores de sólidos que variam de 20% a 40%, bombeada para a área de disposição. A separação dos sólidos é realizada por decantação, um processo auxiliado pela ação da gravidade. Segundo Tabereaux (2019), com o tempo, a lama decanta e a água resultante desse processo é retornada ao sistema de refino de bauxita. À medida que a

lagoa vai sendo preenchida, as barragens e os diques são elevados, ou, caso seja necessário armazenar volumes maiores de resíduos, novas lagoas podem ser construídas. Lagoas já preenchidas podem ser fechadas após o preenchimento completo.

Silva (2024) destaca a importância da neutralização dos resíduos de bauxita antes de sua disposição em lagoas. Caso os resíduos não sejam adequadamente neutralizados, seu pH elevado pode transformar a lagoa em uma área de lama mal compactada, coberta por um líquido altamente alcalino, o que representa riscos tanto para a segurança quanto para o meio ambiente. Evans et al. (2012) enfatizam que a disposição inadequada dos resíduos não neutralizados pode resultar em contaminação de corpos d'água e lençóis freáticos devido à infiltração de licor cáustico e outros contaminantes. Esse cenário não só gera riscos ambientais e à saúde humana e animal, mas também aumenta os custos de fechamento e reabilitação das áreas de disposição.

3.6 Cortina de filtração

As cortinas de turbidez, representada na Figura 3, também denominadas barreiras de turbidez, são dispositivos projetados especificamente para controlar a dispersão de partículas suspensas em ambientes aquáticos. Esses dispositivos são amplamente utilizados em diversas atividades, como dragagem, construção de portos, instalação de cabos submarinos, extração mineral e em obras de infraestrutura costeira (Silva, 2023).

Figura 3 - Montagem da cortina de filtração.



Fonte: Próprio autor (2025).

Sua aplicação é fundamental em ambientes marinhos, fluviais e lacustres, pois ajudam a reduzir significativamente os impactos ambientais. Ao controlar a dispersão de sedimentos, as cortinas de turbidez protegem a qualidade da água e preservam ecossistemas aquáticos sensíveis (Gomes, 2023).

Essas barreiras são compostas por materiais como tecidos geotêxteis ou sintéticos flutuantes, os quais formam uma barreira vertical quando suspensos na superfície da água e ancorados ao fundo. Esse design inovador permite o fluxo controlado da água enquanto retém as partículas em suspensão, impedindo que sedimentos se espalhem para áreas ecologicamente sensíveis. Assim, elas desempenham um papel crucial na proteção e preservação do meio ambiente aquático (Levighini; Moura; Tiezzi, 2024).

Os principais componentes das cortinas de turbidez incluem flutuadores, que mantêm a barreira na superfície da água; o painel da cortina, que atua como um bloqueio físico para os sedimentos; as cadeias de lastro, que garantem que a cortina se estenda até o fundo aquático; e as âncoras, que fixam o dispositivo em sua posição, mesmo em condições adversas, como correntes fortes e ventos intensos (Machado, 2023).

A implementação de cortinas de turbidez é especialmente relevante em projetos que podem causar impacto significativo na qualidade da água, como na extração de bauxita, onde a liberação de sedimentos pode ameaçar ecossistemas aquáticos e comprometer a biodiversidade local. Nesse contexto, essas barreiras desempenham um papel vital na proteção ambiental, pois ajudam a reduzir a turbidez e minimizam a dispersão de partículas, o que contribui para a preservação da qualidade da água e dos habitats aquáticos sensíveis (Silva, 2023).

Sua eficácia e importância tornam as cortinas de turbidez uma solução essencial para projetos realizados em ambientes aquáticos. Além de garantir a conformidade com as regulamentações ambientais, essas barreiras demonstram um compromisso com práticas sustentáveis e com a minimização dos impactos ambientais causados por intervenções humanas (Ismail; Da Silva; Da Silva, 2023). Quando bem planejadas e instaladas, as cortinas de turbidez ajudam a equilibrar o desenvolvimento humano com a preservação do meio ambiente, promovendo a coexistência harmoniosa entre a infraestrutura necessária e os ecossistemas naturais (Ismail; Da Silva; Da Silva, 2023).

3.7 Áreas de resíduos de bauxita

Durante o processo de extração da bauxita e seu subsequente refino para transformação em alumina, ocorre a formação de resíduos de bauxita. Esses resíduos, como subprodutos do processo, são direcionados para áreas específicas e adequadamente licenciadas pelos órgãos ambientais competentes. Essas áreas de disposição são projetadas para atender aos mais altos padrões exigidos pela indústria e garantir a conformidade com as normas ambientais vigentes (ABAL, 2017).

As Áreas de Resíduos de Bauxita (ARB's) retratada na Figura 4 são locais devidamente licenciados e preparados para a deposição dos resíduos gerados durante o refino da bauxita. Elas são construídas com o intuito de proporcionar segurança operacional e ambiental, minimizando os riscos associados à deposição desses materiais. Durante a fase de construção dessas áreas, há um intenso movimento de solo e atividades de terraplanagem, o que pode causar a dispersão de partículas finas e sedimentos nas proximidades. Quando ocorrem chuvas, há o risco de que esses resíduos sejam transportados para áreas a jusante das ARB's, exacerbando o problema da turbidez e da dispersão de finos.

Figura 4 - Área de resíduos de bauxita.



Fonte: Próprio autor (2025).

Dessa forma, é imprescindível a implementação de práticas de engenharia voltadas para o controle eficiente da sedimentação e da turbidez nas ARB's. Essas práticas visam minimizar os impactos ambientais e garantir a estabilidade das áreas de deposição, prevenindo a contaminação dos corpos d'água e preservando os ecossistemas locais (Fernandes, 2022).

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 Caracterização da Área de Estudo e Condições Ambientais

A área de estudo abrange uma bacia de sedimentação situada estrategicamente a jusante de uma área de disposição de resíduos de bauxita, no município de São Luís, Maranhão. Essa localização é crítica devido à proximidade com uma refinaria de alumínio, cuja operação gera efluentes que, sem tratamento adequado, podem impactar os corpos hídricos receptores. A bacia foi projetada para atuar como um sistema de mitigação ambiental, reduzindo a turbidez dos efluentes e atendendo aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011, que regula parâmetros de qualidade para corpos d'água de Classe I, como o Córrego Pedrinhas.

A Figura 5 apresenta uma visão detalhada da bacia de sedimentação utilizada neste estudo, destacando sua configuração e localização. O projeto da bacia inclui barreiras físicas e áreas de retenção para promover a decantação de partículas suspensas. Além disso, os sistemas de drenagem integrados são essenciais para garantir que o efluente tratado seja liberado com um nível de turbidez aceitável, protegendo os ecossistemas aquáticos e evitando sanções ambientais. A infraestrutura da bacia também inclui diques de contenção e zonas de decantação. Essas estruturas são projetadas para reduzir a velocidade do fluxo hídrico, favorecendo a deposição de partículas mais densas antes que o efluente seja liberado no ambiente. A eficiência do sistema reflete-se na capacidade de atender aos requisitos normativos e, simultaneamente, preservar os usos múltiplos do corpo hídrico receptor.

Figura 5 - Vista geral da bacia de sedimentação localizada a jusante da área de disposição de resíduos de bauxita, no município de São Luís, Maranhão.



Fonte: Próprio autor (2025).

A região é caracterizada por um clima tropical, com períodos de chuvas intensas que ocorrem sazonalmente, potencializando o transporte de sedimentos por escoamento superficial. Durante essas chuvas, os resíduos de bauxita expostos em pilhas ou áreas de disposição têm maior probabilidade de serem transportados para os corpos d'água adjacentes. Esse cenário exige soluções robustas, como a bacia de sedimentação, para reduzir a carga de sólidos suspensos e, simultaneamente, controlar contaminantes associados, como metais pesados e compostos orgânicos.

Outro aspecto relevante da área de estudo é a composição do solo. Na área de disposição de resíduos, o solo frequentemente sofre degradação devido à ausência de cobertura vegetal, tornando-se mais suscetível à erosão. Este fator, aliado ao alto volume de chuvas, aumenta significativamente a entrada de partículas em suspensão no sistema de tratamento. A bacia de sedimentação, portanto, desempenha um papel crucial não apenas como medida de controle ambiental, mas também como uma etapa intermediária no gerenciamento sustentável de resíduos industriais.

4.2 Materiais e Métodos de Instalação

4.2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A instalação das barreiras físicas de contenção foi realizada com o uso de equipamentos e materiais cuidadosamente selecionados para garantir a eficiência do sistema e a conformidade com as normas ambientais. Os materiais utilizados incluem:

- **Escavadeira 320:** Utilizada para realizar movimentações de solo, abrir acessos e posicionar os elementos estruturais das barreiras. Sua versatilidade permite trabalhar em áreas de difícil acesso, otimizando o processo de instalação.
- **Caminhão Muck:** Essencial para o transporte de resíduos ou materiais excedentes oriundos das operações de instalação. Este caminhão foi empregado principalmente para garantir que o terreno ao redor da bacia permanecesse limpo e seguro durante a operação.
- **Caminhão Basculante:** Responsável pelo transporte de materiais de grande porte, como agregados e outros insumos necessários para o reforço estrutural das barreiras e das áreas adjacentes.
- **Gerador:** Fundamental para fornecer energia elétrica às ferramentas utilizadas no processo de instalação, especialmente em locais remotos ou com infraestrutura elétrica limitada.

Além dos equipamentos mencionados, foram utilizados componentes específicos para as barreiras físicas:

- **Barreiras flutuantes de contenção:** Fabricadas em poliéster reforçado com revestimento em PVC de dupla camada, garantindo resistência à abrasão, intempéries e radiação UV. As barreiras incluem flutuadores ultraleves de polietileno expandido, janelas de filtração de água com malhas de 60 µm, correntes de lastro de 8 mm para estabilidade e alças de manejo para facilitar o posicionamento.
- **Parafusos, presilhas *Hellermann* e manilhas:** Utilizados para o acoplamento entre os módulos das barreiras, assegurando sua integridade estrutural durante a operação.

A seleção dos materiais foi baseada em critérios como durabilidade, resistência às condições ambientais e eficácia na contenção de sedimentos.

Esse conjunto de equipamentos e materiais foi determinante para o sucesso do processo de instalação, garantindo que as barreiras fossem posicionadas de forma segura e eficaz, sem a necessidade de entrada direta na bacia de sedimentação, minimizando assim os impactos operacionais e ambientais.

4.2.2 ETAPAS DE INSTALAÇÃO

- Preparação e Posicionamento das Barreiras

O processo de instalação foi conduzido com rigor técnico para assegurar a eficácia das barreiras de contenção na mitigação de sedimentos. Foram instaladas duas barreiras flutuantes de 240 metros de extensão cada, confeccionadas com poliéster reforçado e revestimento em PVC de alta durabilidade. Essas barreiras possuem características projetadas para aplicações em ambientes adversos, incluindo flutuadores de polietileno de baixa densidade que garantem estabilidade mesmo em condições de variação de fluxo.

As barreiras também são equipadas com janelas filtrantes, que permitem a passagem de água limpa, enquanto retêm partículas sedimentares em suspensão. A estabilização foi alcançada através de correntes de lastro duplo de 8 mm, assegurando que as barreiras permanecessem firmes em diferentes níveis de fluxo e turbulência. Estas estruturas foram projetadas para operar em uma ampla faixa de temperaturas, de 5 °C a 65 °C, garantindo seu desempenho em diversos climas e condições ambientais.

- Fixação e Ancoragem

O processo de fixação inicial consistiu na ancoragem da extremidade da barreira a um cabo guia, que foi cuidadosamente transportado até o ponto de fixação na margem oposta. Essa operação foi executada utilizando equipamentos especializados para evitar danos às barreiras durante o deslocamento. A Figura 6 ilustra o transporte da cortina, destacando a organização e a segurança empregadas na movimentação dos materiais.

Figura 6 - Transporte e posicionamento da barreira flutuante utilizando cabo guia.



Fonte: Próprio autor (2025).

- Montagem Longitudinal e Conexão dos Módulos

Uma vez posicionadas na água, as barreiras foram alinhadas longitudinalmente para facilitar o processo de acoplamento. Este procedimento foi realizado diretamente na margem, utilizando parafusos de aço inoxidável, presilhas *Hellermann* e manilhas robustas, garantindo conexões seguras e resistentes. A Figura 7 retrata a montagem e conexão da cortina, evidenciando a precisão na união dos módulos.

Figura 7 - Montagem e conexão dos módulos da barreira flutuante.



Fonte: Próprio autor (2025).

Cada seção foi inspecionada visualmente para garantir que as conexões estivessem adequadamente tensionadas e alinhadas, evitando possíveis falhas estruturais durante a operação.

- Instalação Final

Após a montagem completa das barreiras, estas foram submetidas a um processo de ajuste final para garantir sua estabilidade em condições dinâmicas de fluxo. Este ajuste incluiu a verificação da tensão das correntes de lastro e a inspeção das janelas filtrantes para assegurar que não houvesse obstruções. A estabilidade final e a união das seções da cortina foram verificadas *in loco*, como apresentado na Figura 8, que demonstra a etapa final da instalação, com as barreiras totalmente montadas e ancoradas.

Figura 8 - Ajuste final e união das seções da barreira flutuante.



Fonte: Próprio autor (2025).

Essa abordagem detalhada garantiu que o sistema de contenção fosse instalado de forma eficiente, minimizando impactos ambientais e maximizando a retenção de sedimentos, conforme os objetivos do estudo.

4.3 Operação e Monitoramento

4.3.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A operacionalização das barreiras flutuantes foi acompanhada por um plano robusto de monitoramento da qualidade da água, com o objetivo de avaliar a eficácia do sistema na remoção de sedimentos e na melhoria da turbidez dos efluentes. O monitoramento foi realizado

de forma contínua, com coletas de amostras em três pontos estratégicos: a entrada da bacia (pré-barreira), a saída da bacia (pós-barreira) e no corpo hídrico receptor, o Córrego Pedrinhas. Esses pontos foram escolhidos para fornecer uma visão abrangente do desempenho das barreiras, desde a interceptação dos sedimentos até a avaliação do impacto final na qualidade da água do corpo receptor.

A avaliação da qualidade da água foi baseada em parâmetros essenciais, que são indicadores-chave da carga sedimentar e da poluição da água, com base nos métodos validados pelo Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater (SMEWW), 23ª edição. Estes parâmetros incluíram:

- **Turbidez (NTU):** Indicador da quantidade de partículas suspensas na água, que afetam diretamente a transparência e a fotossíntese aquática.
- **Sólidos Sedimentáveis:** Medida da quantidade de partículas que se depositam no fundo após a sedimentação.
- **Sólidos Suspensos Totais:** Quantificação das partículas ainda em suspensão, que podem influenciar a qualidade da água e o ecossistema aquático.

As medições foram realizadas utilizando um turbidímetro portátil modelo **DM-TU**, fabricado pela marca **Digimed**, uma empresa brasileira especializada em instrumentos analíticos. A Digimed é conhecida por desenvolver equipamentos para análise de água e outras aplicações laboratoriais. A Figura 9 ilustra a configuração das barreiras já instaladas e operacionais, representando o ambiente no qual os dados de qualidade da água foram coletados para análise.

Figura 9 - Cortinas de contenção instaladas e em operação no local de estudo, com os pontos de monitoramento visíveis ao fundo, evidenciando a instalação em pleno funcionamento.



Fonte: Próprio autor (2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos no estudo sobre o uso de cortinas de controle de turbidez em uma bacia de sedimentação. As análises realizadas avaliaram a eficiência das barreiras físicas em termos de redução de turbidez e retenção de sólidos suspensos. Além disso, foram considerados aspectos de usabilidade e manutenção das barreiras, fundamentais para sua operação em longo prazo.

5.1 Análise de turbidez

A análise de turbidez foi conduzida como uma das abordagens primordiais para avaliar a eficiência operacional das cortinas de contenção. A implementação de um plano de monitoramento semanal permitiu uma avaliação criteriosa e sistemática dos índices de turbidez, que foram registrados antes e após as barreiras instaladas. A escolha de um turbidímetro de bancada devidamente calibrado assegurou a precisão e a confiabilidade das medições.

Para evitar interferências que poderiam comprometer os resultados, as amostras foram coletadas sob condições ambientais controladas. Especificamente, foram priorizados períodos sem ocorrência de precipitações significativas, reduzindo os efeitos do escoamento superficial no sistema. Cada coleta foi realizada utilizando amostras de 1 L, que passaram por um sistema experimental de barreiras, sendo o tempo de escoamento registrado para avaliar a dinâmica do processo.

Os resultados obtidos estão descritos nas Tabelas 1 e 2, que apresentam os valores médios de turbidez e os percentuais de remoção observados ao longo do tempo. A Tabela 1 destaca os valores iniciais de turbidez (>1.054 NTU) e as reduções obtidas após o contato com as barreiras em intervalos regulares de um a três minutos. A redução na turbidez foi acompanhada de forma precisa, com variações progressivas ao longo do tempo. A Tabela 2, por sua vez, apresenta os percentuais de remoção de turbidez, evidenciando uma eficiência média de aproximadamente 20% após três minutos de filtração.

Tabela 1: Medições de turbidez em diferentes intervalos de tempo e volumes de amostra após a filtração.

Parâmetro medido	A1*	A2*	A3*	A4*	A5*	Média	Desvio Padrão
Turbidez antes da filtração (NTU)	>1.054	>1.054	>1.054	>1.054	>1.05		
Tempo de saída da primeira gota (s)	10	12	14	10	11		
Turbidez na fração coletada após 1 minuto (NTU)	1045	1075	1013	1065	1017	1043	27,78
Turbidez na fração coletada após 2 minutos (NTU)	974,7	985,9	969,6	971,9	963,4	973,1	8,28
Turbidez na fração coletada após 3 minutos (NTU)	913,3	957,5	929,9	933,2	921,5	931,08	16,67
Volume de amostra após a filtração (mL)	900	850	879	915	885		

*A1 a A5 = Amostras 1 a 5.

Fonte: Próprio autor (2025).

Tabela 2: Eficiência Percentual de Remoção de Turbidez pelas Cortinas de Contenção em Função do Tempo de Filtração.

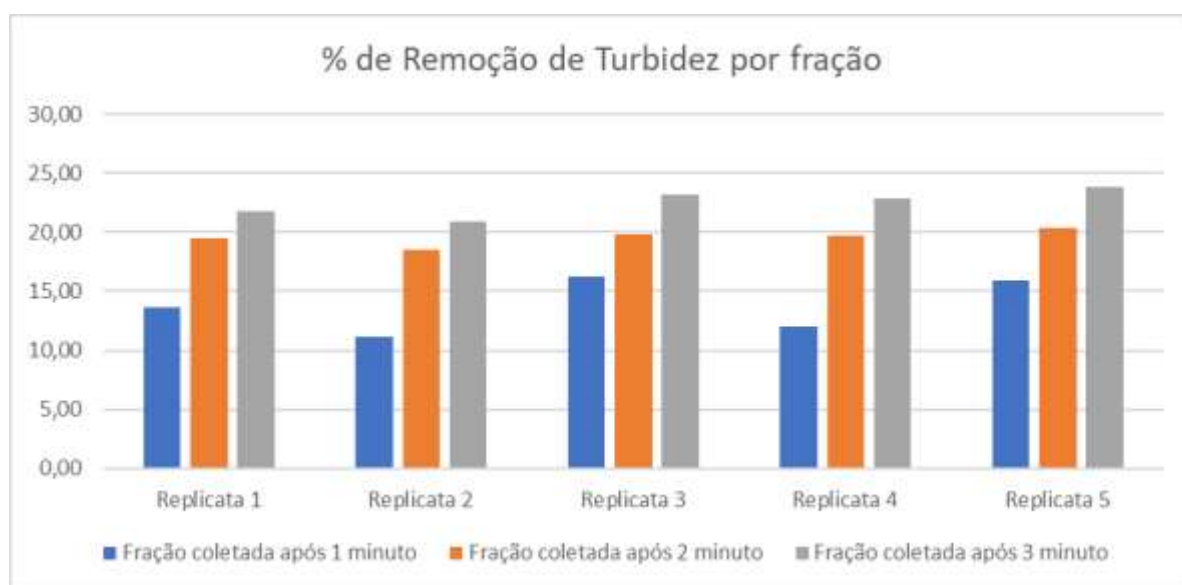
% de remoção de turbidez na fração coletada	A1*	A2*	A3*	A4*	A5*
Após 1 minuto	>13,64	>11,16	>16,28	>11,98	>15,85
Após 2 minuto	>19,45	>18,52	>19,87	>19,68	>20,38
Após 3 minuto	>21,80	>20,87	>23,15	>22,88	>23,84

*A1 a A5 = Amostras 1 a 5.

Fonte: Próprio autor (2025).

Os dados apresentados na Figura 10 demonstram de forma clara e consistente a eficácia das cortinas de contenção na redução da turbidez ao longo do período analisado, evidenciada por uma eficiência média de 20%. Esse desempenho reflete a contribuição direta das barreiras em alterar as condições hidráulicas do sistema, promovendo uma maior estabilidade do fluxo e otimizando os processos físicos de sedimentação de partículas suspensas. A dinâmica observada pode ser explicada pela interação de princípios físico-químicos e hidrodinâmicos, que se inter-relacionam para proporcionar melhorias no tratamento da água.

Figura 10 - Avaliação gráfica da turbidez antes e após a passagem pelas cortinas de contenção.



Fonte: Próprio autor (2025).

O aumento do tempo de residência hidráulico (TRH) é um dos fatores mais relevantes na eficiência do sistema a medida que o fluido é forçado a atravessar as cortinas, o trajeto é prolongado e a velocidade de escoamento reduzida, permitindo que partículas de maior tamanho e densidade sedimentem no fundo da bacia pela ação da gravidade, conforme descrito pela Lei de Stokes (De Mendonça; Otenio; De Paula, 2021). A explicação para os resultados obtidos pode ser atribuída ao fenômeno de decantação, no qual partículas com maior densidade se separam da fase líquida devido à ação gravitacional, um processo amplificado pela redução da velocidade do fluido esses dados demonstram que as cortinas podem ser uma solução viável para mitigar problemas relacionados à turbidez em ambientes aquáticos, principalmente em áreas sujeitas a altas cargas de sedimentos (Lima, 2022).

Este fenômeno é particularmente importante em sistemas de tratamento de água, na qual a carga de partículas suspensas pode variar em termos de tamanho, densidade e composição química (Lima, 2022).

A redução da turbulência desempenha um papel central nesse processo. Em sistemas turbulentos, partículas sedimentadas podem ser re-suspendidas devido a forças ascendentes no fluxo de fluido. As cortinas, ao suavizarem o fluxo, minimizam essa re-suspensão e promovem a deposição contínua de partículas no fundo da bacia. Os resultados observados nas Tabelas 1 e 2 suportam essa análise, apresentando uma diminuição progressiva nos valores de turbidez após a passagem pelas barreiras. Por exemplo, a Tabela 1 destaca que, em todas as amostras analisadas, a turbidez medida após 3 minutos de filtração apresenta redução significativa de turbidez, indicando que o sistema é eficaz em promover a deposição de partículas ao longo do tempo de contato.

Além disso, o comportamento observado no sistema é amplificado pela suavização do fluxo hidráulico promovida pelas barreiras, que reduz gradativamente a energia cinética do fluido. Isso favorece tanto a sedimentação de partículas inorgânicas como a retenção de componentes mais complexos, como óleos e graxas, evidenciados na retenção de camadas oleosas na Figura 11. Esses compostos hidrofóbicos são capturados de forma eficiente pelas cortinas, reforçando sua contribuição como elementos auxiliares na separação de fases.

Figura 11 - Retenção de camada oleosa na primeira cortina de contenção.



Fonte: Próprio autor (2025).

Em estudo realizado por Levighini, Moura e Tiezzi (2024), observou-se que a instalação das cortinas de turbidez no rio em São Paulo apresentou potencial para reduzir sólidos suspensos na água bruta, auxiliando na pré-filtração antes do tratamento convencional, embora a redução média da turbidez tenha sido baixa, a estimativa de diminuição da geração de lodo nas estações de tratamento foi significativa, alcançando até 15 toneladas anuais. Além disso, o uso de duas barreiras em série demonstrou eficiência, com a primeira promovendo a sedimentação e a segunda reforçando a retenção de partículas. O estudo reforça a viabilidade dessa solução de baixo custo para melhorar a qualidade da água captada e sugere aplicações em maior escala.

De maneira análoga, os dados do presente estudo também revelam limitações inerentes ao sistema, bem como a presença de saídas não controladas no fundo da bacia compromete a homogeneidade do tratamento, permitindo que frações do fluido evitem o contato direto com as cortinas e, conseqüentemente, reduzindo a eficiência global. Adicionalmente, a alta carga de sólidos suspensos na água, particularmente partículas muito finas com baixa velocidade de sedimentação, sugere a necessidade de estratégias complementares. O uso de processos químicos, como a floculação, pode potencializar significativamente a eficiência das cortinas ao promover a formação de flocos maiores e mais densos, que sedimentam mais rapidamente sob as condições de fluxo estabelecidas.

5.2 Análise de Sólidos Suspensos

A análise de sólidos suspensos, realizada com o auxílio de cones *Imhoff*, forneceu dados complementares à avaliação de turbidez e permitiu uma compreensão mais ampla sobre a eficiência das barreiras no controle de partículas sedimentáveis. Este método, amplamente utilizado em engenharia ambiental e química, oferece uma estimativa visual e quantitativa do volume de sólidos sedimentados em um fluido, sendo uma abordagem eficaz para sistemas de tratamento de águas residuais e de controle de poluentes.

Os experimentos envolveram a coleta de amostras de 1 litro em pontos estratégicos: antes e após as barreiras de contenção. As amostras foram submetidas a um repouso inicial de 24 horas para promover a sedimentação natural das partículas presentes. Durante esse período, forças gravitacionais agiram seletivamente sobre partículas maiores e mais densas, resultando em uma estratificação clara entre sólidos sedimentáveis e material sobrenadante. Após o repouso inicial, uma agitação leve foi realizada nos cones para liberar partículas aderidas às

suas paredes internas, seguida de um período adicional de 15 minutos para sedimentação final antes da leitura.

Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 3, evidenciam uma redução média de 50 mL no volume de sólidos sedimentados entre as amostras coletadas antes e após as barreiras de contenção. Tal redução pode ser atribuída ao aumento do tempo de residência do fluido e à mitigação da turbulência proporcionada pelas barreiras, fatores que favorecem o comportamento sedimentar das partículas em suspensão.

Tabela 3: Volume de Sólidos Sedimentáveis (mL/L).

Ponto de Coleta	Amostra 1 (antes)	Amostra 2 (após)
Volume Sedimentado	900 mL/L	850 mL/L

Fonte: Próprio autor (2025).

A análise de sólidos sedimentáveis, por sua vez, reforçou os resultados da turbidez, com uma redução significativa no volume de sólidos após a barreira. A metodologia utilizada, por meio de cones *Imhoff*, permitiu a quantificação precisa da retenção de partículas sedimentares, indicando que as cortinas desempenham um papel importante na remoção de sólidos suspensos. A sedimentação desses materiais é crucial para a melhoria da qualidade da água, uma vez que a presença de sólidos em suspensão pode comprometer a transparência da água e afetar a biota aquática de diversas maneiras, incluindo a redução da penetração de luz e a obstrução das brânquias de organismos aquáticos.

A contribuição das barreiras para a sedimentação está intimamente ligada ao princípio de Stokes, que descreve o movimento de partículas esféricas em um fluido viscoso sob a influência da gravidade. Neste caso, a redução da velocidade do fluxo causada pelas barreiras aumenta o tempo necessário para que partículas menores e menos densas atinjam o fundo do sistema, promovendo maior eficiência de remoção. A Figura 12, que apresenta os pontos de coleta das amostras, e a Figura 13a, com as amostras no cone *Imhoff*, complementam a contextualização visual dos experimentos, enquanto os dados apresentados reforçam a relevância das barreiras como tecnologia passiva no controle de sólidos sedimentáveis. Além disso, a Figura 13b ilustra o processo de sedimentação em cones *Imhoff*, evidenciando a diferença visual entre os volumes sedimentados nas amostras analisadas.

Figura 12 - Pontos de coleta utilizados no monitoramento da eficiência das barreiras, localizados estrategicamente antes e após o sistema de contenção.



Fonte: Próprio autor (2025).

Figura 13 - (a) Amostras de água coletadas posicionadas nos cones *Imhoff*, demonstrando o processo de sedimentação dos sólidos em repouso; (b) Comparação visual do volume de sólidos sedimentados nos cones *Imhoff* para amostras coletadas antes e após as barreiras, evidenciando a eficiência na retenção de partículas.



(a)



(b)

Fonte: Próprio autor (2025).

Ainda, a análise do material sobrenadante revelou uma ligeira redução na turbidez após a barreira, conforme mencionado anteriormente na Seção 5.1, reforçando a função das

cortinas como sistemas híbridos que atuam tanto na sedimentação quanto na retenção de partículas em suspensão.

5.3 Usabilidade e manutenção das cortinas de controle de turbidez

A implementação de um sistema eficaz de cortinas para controle de turbidez exige cuidados regulares com sua manutenção e operação. Com base nos resultados obtidos neste estudo e considerando que o projeto ainda se encontra em fase piloto, a manutenção das barreiras deve seguir diretrizes claras para garantir sua longevidade e eficiência operacional. Para isso, sugerem-se práticas adequadas para os dois cenários nos quais as cortinas estarão expostas: períodos com a bacia cheia e períodos secos. A seguir, são discutidos os métodos recomendados para cada um desses cenários, levando em conta tanto a usabilidade do sistema quanto os cuidados específicos para manter a integridade e a funcionalidade das cortinas de controle.

5.3.1 METODOLOGIA DE ATIVIDADES PARA PERÍODO COM A BACIA CHEIA

Durante o período em que a bacia está cheia, as cortinas de controle de turbidez estarão em operação constante. O acompanhamento da eficiência do sistema deve ser feito periodicamente para identificar qualquer falha ou degradação do desempenho das barreiras. A observação detalhada dos pontos críticos de ancoragem, amarração e a tela das cortinas, conforme ilustrado nas figuras 14 e 15, é essencial para garantir a longevidade e a eficiência contínua do dispositivo. A sugestão de um plano de manutenção regular, especialmente durante períodos de queda do nível da água, é um aspecto importante para evitar danos estruturais e falhas no sistema de controle de turbidez.

Embora, por ser um projeto piloto, não existam prazos fixos para verificação e manutenção, a fornecedora do material EPS recomenda uma análise quinzenal dos seguintes componentes essenciais do sistema:

- **Ponto de ancoragem:** A estabilidade da cortina depende de um ponto de fixação robusto. Verificações devem ser feitas para assegurar que o ancoramento não esteja comprometido por desgaste, corrosão ou qualquer outra falha estrutural.

- **Amarração:** O sistema de amarração que segura as cortinas no local deve ser inspecionado quanto à integridade das linhas de ancoragem, evitando que elas se soltem devido ao movimento da água ou ao acúmulo de sedimentos.
- **Flutuabilidade:** Como o material utilizado nas cortinas é EPS (poliestireno expandido), que confere à estrutura a capacidade de flutuar, deve-se verificar se a densidade da cortina está adequada para manter a estabilidade da barreira mesmo em condições variáveis de volume de água.
- **Tela:** A tela da cortina é crucial para a retenção das partículas e, portanto, deve ser inspecionada quanto a entupimentos e obstruções causadas pelo excesso de sedimentos ou pela presença de materiais estranhos, como galhos ou folhas. Esses bloqueios podem comprometer a eficiência do sistema de filtração, resultando na liberação de partículas suspensas não tratadas. Assim, é necessário um monitoramento frequente e limpeza das telas sempre que necessário.

5.3.2 METODOLOGIA DE ATIVIDADES PARA PERÍODO SECO

Durante os períodos secos, quando a bacia apresenta uma queda significativa no volume de água, as cortinas de controle devem ser removidas temporariamente para evitar o rompimento ou a danificação do sistema. As barreiras de contenção precisam de um volume mínimo de água para garantir sua flutuabilidade e funcionalidade, e sua presença em uma bacia com volume insuficiente pode comprometer sua integridade estrutural.

Quando a redução do volume de água é percebida, a remoção imediata das cortinas é essencial para evitar danos irreparáveis. Após a retirada, recomenda-se a limpeza das cortinas utilizando um jato de água, que pode ser mais eficaz para remover os sedimentos e detritos acumulados. Caso haja sujeira mais persistente ou depósitos sólidos aderidos às cortinas, pode-se utilizar uma esponja não abrasiva com sabão neutro, evitando qualquer dano à integridade do material EPS.

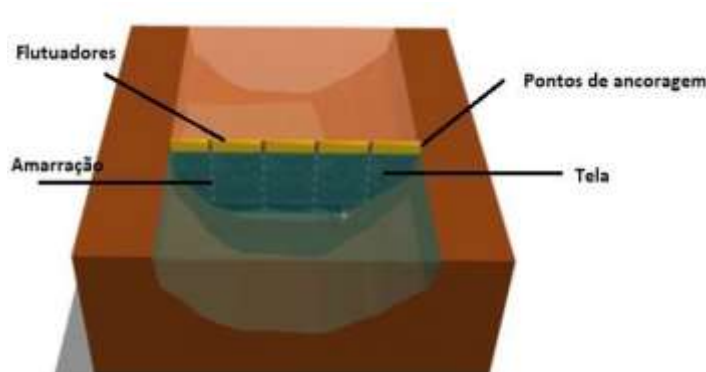
A secagem das cortinas após a limpeza é outro aspecto importante. As barreiras devem ser armazenadas em um local seco, preferencialmente longe da incidência direta de luz solar, uma vez que a exposição prolongada aos raios UV podem degradar o material, comprometendo sua durabilidade. Durante o armazenamento, as cortinas devem ser dobradas de maneira adequada para preservar a estrutura e evitar o desenvolvimento de deformações que possam prejudicar sua funcionalidade no futuro.

5.3.3 DIRETRIZES DE MANUTENÇÃO

A Figura 14, ilustra os pontos de análise recomendados para a manutenção das cortinas durante o período com a bacia cheia, destacando os locais críticos para inspeção da ancoragem, da amarração e da tela. Já a Figura 15, demonstra a forma correta de amarração das seções das cortinas, com foco na garantia de que o sistema permaneça seguro e estável, mesmo sob condições adversas.

Essas práticas de manutenção são cruciais para garantir a eficiência do sistema de controle de turbidez ao longo do tempo. A abordagem preventiva proposta não só maximiza a vida útil das cortinas, mas também assegura sua eficácia na remoção de partículas suspensas, conforme evidenciado pelos dados de turbidez e sólidos sedimentáveis. Em cenários de alta carga de sólidos, como observado nas amostras analisadas, a manutenção correta das cortinas pode ser o diferencial entre o sucesso ou fracasso do sistema.

Figura 14 - Pontos de análise recomendados para a manutenção das cortinas durante o período com a bacia cheia, evidenciando os locais críticos para inspeção da ancoragem, amarração e tela.



Fonte: Próprio autor (2025).

Figura 15 - Ilustração do procedimento correto de amarração das seções das cortinas, garantindo a estabilidade e a segurança do sistema mesmo sob condições adversas.



Fonte: Próprio autor (2025).

6. CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a eficiência de barreiras de material geotêxtil no controle da turbidez em bacias de sedimentação. As cortinas instaladas demonstraram eficácia na redução da turbidez e dos sólidos suspensos, com uma diminuição de aproximadamente 20%, alinhada à meta proposta. Essa redução foi alcançada pelo aumento do tempo de residência do fluido na bacia e pela suavização do fluxo, favorecendo a sedimentação das partículas.

Os resultados também evidenciaram que as barreiras contribuíram para a preservação da qualidade da água dos corpos hídricos adjacentes à refinaria, apesar de desafios, como saídas não controladas e alta carga de sólidos, que comprometem a retenção contínua. Para superar essas limitações, recomenda-se a implementação de processos complementares, como a floculação, para otimizar a remoção de partículas finas.

Adicionalmente, o monitoramento contínuo assegurou que os parâmetros de turbidez permanecessem próximos aos limites legais, destacando a viabilidade das barreiras como solução ambientalmente responsável. A manutenção regular e o aprimoramento do sistema são fundamentais para ampliar sua eficiência e aplicabilidade em contextos semelhantes, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental.

Em suma, este trabalho demonstrou a viabilidade das cortinas de controle de turbidez como uma solução ambientalmente amigável e eficaz para a redução da turbidez e sólidos sedimentáveis em sistemas aquáticos. A implementação de práticas de manutenção adequadas e o aprimoramento contínuo das técnicas empregadas poderão ampliar a aplicabilidade desta tecnologia em diversos contextos, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos e a proteção de ecossistemas aquáticos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Antonia Leyanne Gomes de. Otimização do processo de tratamento de água de abastecimento do município de Crateús-CE. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2021.
- ARAÚJO, Cristian Brito; BORGES, Natalia Huppes. Adaptação tecnológica da ETA Rio Manso-Brumadinho após o rompimento das barragens da Vale S/A. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Alumínio: Cadeia Primária. São Paulo: ABAL, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Bauxita no Brasil: Mineração Responsável e Competitividade. São Paulo: ABAL, 2017.
- AUGUSTO, Vagney Aparecido. Definição de critérios sustentáveis para outorga de recursos hídricos subterrâneos: aplicação para o Estado da Bahia. 2022. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) - Universidade de Brasília. 2023.
- BAIRD, Rodger B. EATON, Andrew D. RICE, Eugene W. Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater. American Public Health Association, American Water Works Associations, Water Environment Federation, 23 edição, 2017
- BEZERRA, Larissa de Oliveira. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto para residências unifamiliares isoladas em áreas rurais: uma revisão bibliográfica. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2024.
- BRAGA, Frederic Yann Armache. Utilização de tecnologias de filtragem de rejeitos para empilhamento a seco. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos de água e complementa a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 maio 2011
- CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015.
- CÂMARA, Hanna Camila de Barros. Eficiência dos dispositivos de baixo impacto de sistemas de drenagem urbana para eventos extremos de precipitação em uma bacia tropical. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2022.
- CERQUEIRA, Arthur Costa. Avaliação dos efeitos de obstáculos no controle de correntes de turbidez. 2022. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) –

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016. São Paulo: CETESB, 2017.

JUNIOR, Antonio Aparecido Couto. Erosão hídrica e transporte de sedimentos na bacia do ribeirão Cachoeirinha. 2016. Dissertação (Mestrado em Geociências e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2016.

DA COSTA, Luan Alves et al. Impactos do uso do solo na dinâmica hidrológica da sub-bacia do Baixo e Médio Una, Taubaté, SP. Revista Técnica Ciências Ambientais, v. 1, n. 8, p. 1-12, 2024.

DE AGUILAR, Débora Campos Barreira. Desenvolvimento de membrana reciclada para sistema descentralizado de tratamento de água com elevada concentração de ferro e manganês para abastecimento. 2021. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2021.

DE CAMPOS, Roger Francisco Ferreira et al. Análise da qualidade da água do Lago das Araucárias do município de Fraiburgo, Santa Catarina, Brasil. Nature and Conservation, v. 15, n. 1, p. 40-47, 2022.

DE MENDONÇA, Henrique Vieira; OTENIO, Marcelo Henrique; DE PAULA, Vanessa Romario. Digestão anaeróbia para produção de energia renovável. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 14, n. 3, p. 793-805, 2021.

JÚNIOR, Roberto de Carvalho. *Interfaces prediais: Hidráulica, gás, segurança contra incêndio, elétrica, telefonia, sanitários acessíveis, NBR 15575: edificações habitacionais – desempenho e BIM – nova forma de projetar*. 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2023.

DE JESUS, Veruska Costa; BARRETO, Helen Nébias. Padrão de drenagem, um resgate conceitual como subsídio à classificação da bacia do rio Preguiças–MA. Ciência Geográfica, Bauru, v. 25, n. 4, p. 1533-1550. 2021.

DE MATTOS, Luckas Misael.; PINTO, Thales Ian Maia Sales. Aplicabilidade de um sistema múltiplo de reaproveitamento de água com ênfase em residência unifamiliar. Multi-Science Research (MSR), v. 7, n. 2, p. 71-82. 2024.

DE SOUZA, Cleandho Marcos. Alagados flutuantes construídos: design do produto, inovações, eficiência e prestação de serviços ecossistêmicos. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2020.

DAMASCENO, Camilo Xavier. Simulação de tratamento de água para geração de vapor: análise comparativa de dados randômicos com parâmetros reais. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2023.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. Métodos e técnicas de tratamento de água. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, p. 107-107, 2006.

FERNANDES, Rafaela Baldi. *Panorama geotécnico das rupturas de barragens e gestão de*

risco. 1. ed. Curitiba: Editora Appris, 2020.

FERNANDES, João Paulo. *Introdução à engenharia natural em sistemas terrestres*. Editora Edição eletrônica, ISBN: 978-989-33-3970-1. 2022.

GALLO, Mateus do Nascimento. Morfometria e uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego São Pedro, São José do Rio Preto-SP. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto. 2024.

GBS GEO. Manta de Bidim geotêxtil 69m² para drenagem – 2,30 x 30,00. Disponível em: <https://www.gbsgeo.com.br/geotextil/manta-de-bidim-geotextil-69mts-para-drenagem-2-30-x-30-00>. Acesso em: 13 jan. 2025.

GOMES, Maria Daniela Monteiro. Resíduos de construção e demolição nos sistemas de cobertura de aterros de resíduos: estudo da resistência ao corte das interfaces com geossintéticos. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2023.

GRÄFE, Markus; POWER, Greg; KLAUBER, Craig. Bauxite residue issues: III. Alkalinity and associated chemistry. *Hydrometallurgy*, v. 108, n. 1-2, p. 60-79, 2011.

HAUSCHILD, Mariana Crespo. Recuperação de Área de Preservação Permanente afetada por voçorocas na Fazenda Cedro do Líbano em São Carlos (SP). 2024. Trabalho de Conclusão de Curso– Universidade Estadual Paulista, SP. 2024.

HERZOG, Cecilia Polacow. Soluções baseadas na Natureza para um novo paradigma no tratamento de esgoto em áreas urbanizadas. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 25, n. 50, p. 133-158, 2020.

ISMAIL, Isadora Alves Lovo; DA SILVA, Maria Eduarda Gomes; DA SILVA, Nicolas Gabriel Aziani. Técnicas para tratamento de efluente de uma indústria têxtil em São Paulo. *Revista Científica Integrada*, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2023.

ISO 877-1. *Plastics – Methods of exposure to solar radiation – Part 1: General guidance*. Switzerland, 2009.

ISO 877-2. *Plastics – Methods of exposure to solar radiation – Part 2: Direct weathering and exposure behind window glass*. Switzerland, 2009.

ISO TS 13434. *Geosynthetics – Guidelines for the assessment of durability*. Switzerland, 2008.

JESUS, Taynar Mota de. Qualidade da água da sub-bacia do rio Poxim a montante e a jusante da captação da estação de tratamento de água. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

KLAUBER, Craig.; GRÄFE, Markus; POWER, Greg. Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization. *Hydrometallurgy*, v. 108, n. 1-2, p. 11-32, 2011.

LARENTIS, Dante Gama. Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias:

sistema Taquari-Antas-RS. 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LEVIGHINI, Allan César Pasqualini; MOURA, Rafael Brito de; TIEZZI, Rafael de Oliveira. Avaliação da eficiência na utilização de cortinas de turbidez para retenção de sólidos em suspensão realizada em escala piloto. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 29, p. e20230036, 2024.

LIBÂNO, Marcelo. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água*. 4. ed. Campinas: Editora Átomo, 2016.

LIMA, Évio Marcos de. Modelagem de evolução geomorfológica da bacia do Rio Canhoto, Pernambuco, a partir de análises morfoclimáticas e neotectônicas. 2022.

LOCATELLI, Ana Paula Klaus. *Arquitetura e Engenharia Civil Contemporânea: inovação, tecnologia e sustentabilidade*. vol. 5. São Paulo: Editora Aya, 2024.

MACHADO, Ugo Leonardo Rodrigues. Efeitos de macrófitas flutuantes nos processos evaporativos em mesocosmos. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

MARTINS, Cássio Felipe Vieira et al. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, SE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 7, n. 2, p. 117-126, 2022.

MEDEIROS, Adriana Torres. Avaliação da viabilidade técnica para revitalização de rios urbanos: estudo de caso Arroio Dilúvio. 2022. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

MENUCHI, Carlos Alexandre Trindade Pinheiro. Análise das oportunidades e desafios no uso de soluções baseadas na natureza como medidas complementares ao Programa Novo Rio Pinheiros na cidade de São Paulo. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

MINELLA, Jean Paolo Gomes et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MORAES, Gabrielle Claudia de. Desempenho comparativo de sistemas de tratamento de esgoto: fluxo contínuo versus lodos ativados por batelada. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2023.

MOREIRA, Igor Sieczkowski; GOULART, Rossana Vicente. Análise das taxas de sedimentação do rio Jacuí entre Vale Verde e São Jerônimo, Bacia hidrográfica do Baixo Jacuí (Rio Grande do Sul, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, v. 50, n. 1, e127773, p. 1-27, 2023.

MOREIRA, Leonardo Leon Leite. Efeito da introdução de bacias de retenção sobre a drenagem de águas pluviais: estudo de caso numa área urbana em Juiz de Fora, MG. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024.

MUNIZ, Luana Toniolo. Sistema para controle de turbidez na etapa de captação em uma

estação de tratamento de água de Porto Alegre. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia dos Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

NETO, Emmanuel Franco et al. Análise petrográfica e diagenética na Formação Pimenteira: estudo comparativo em diferentes contextos deposicionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 3, p. 1620-1657, 2024.

NOBRE, Samilly Brito. Condições operacionais e desempenho da clarificação de uma estação de tratamento de água do tipo convencional. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros, 2020.

OHIRA, Fernanda Harumy Gomes; DA SILVA, Jefferson Lins. Avaliação do desaguamento de resíduo de pecuária em sistemas de confinamento de resíduos em geotêxteis tecido e não tecido. 2021. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

OLIVEIRA, Eduardo Paniguel. Avaliação de barreiras flutuantes na redução de sólidos suspensos. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2017.

OLIVEIRA, Henrique Alberton de. Avanços na remoção de íons, micro e nano partículas de suspensões aquosas usando cloreto férrico e amido gelatinizado. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2021.

OLIVEIRA, Helenamara Fonseca Sobrinho de. Proposta de índice de tratamento de esgoto sanitário como ferramenta de apoio ao lançamento de efluentes. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.

ORNELAS, Flávio da Silva. Barreiras de contenção de impacto com tubos de geotêxteis. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.

PAGANINI, Wanderley da Silva; BOCCHIGLIERI, Miriam Moreira; PITOMBO, Leonardo Machado. *Saneamento para estudantes e profissionais de saúde pública*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2023.

PALMEIRA, Ennio Marques. *Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2018.

PAVANI, João Flávio Doccosse; CAMPOS, Julyenne Meneghetti. Tecnologias aplicadas para recuperação ambiental do rio Paraopeba por meio de uma estação de tratamento de água fluvial: estudo de caso do acidente de Brumadinho-MG. *Revista Expressão Da Estácio*, v. 5, n. 1, p. 110-133, 2021.

PONTES, Álef Kevin de Oliveira. Uso de métodos simplificadores para determinação da descarga de sedimentos totais em rios: caso rio Amambai-MS. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2023.

PONTES, Izabele Cristine Correa. Antropogeomorfologia em área de mineração: modificações na forma do relevo e impactos no município de barcarena-PA. *Revista GeoAmazônia*, v. 11, n.

22, p. 198-219, 2023.

PORTELINHA, Fernando Henrique Martins; ZANON, Thiago Villas Bôas; DA ROCHA, Paulo Eduardo Oliveira. Aspectos sobre o uso de geotêxteis em sistemas filtro-drenantes em aterros sanitários. XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Balneário Camboriú – SC, 2024.

POWER, G.; GRÄFE, M.; KLAUBER, C. Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices. Hydrometallurgy, v. 108, n. 1-2, p. 33-45, 2011.

REIS, Andressa Nunes. Aplicações de geossintéticos em barragens de rejeitos. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

ROCHA, Ramon Vitor Teixeira; PEREIRA, Barbara Costa; NASCENTES, Alexandre Lioi. *Aplicações de Geossintéticos no Saneamento*. Editora Appris, 2020.

RODRIGUES, Elisangela Ronconi. *Práticas em recuperação de áreas degradadas*. 1. ed. São Paulo: Editora Senac, 2023.

SANTOS, Dauvane Macinele Gomes dos. Caracterização de modelos de recuperação de áreas degradadas. 2024. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2024.

SANTOS, Igor Gonzaga Martins et al. Contribuição e perspectivas sobre o dimensionamento de estruturas de contenção de sedimentos na mineração-SUMPS. II Flu Hidros, 2024.

SANTOS, Julia Katryne Barbosa et al. Tratamento de águas residuárias de lavagem de veículos como forma de reduzir seus impactos ambientais. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2024.

SANTOS, Lilian Alaide Souza. Estudo para a elaboração de um manual de instalações para reúso de águas cinzas em edificações residenciais. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

SCAPIN, Bruno Alvarez. Estudo da dinâmica de correntes de turbidez em sistemas canal-bacia por simulação numérica em diferenças finitas de segunda ordem. 2022. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

SCHLESNER, Alexandre Augusto et al. Funções das áreas hidrologicamente frágeis na formação e modelagem do escoamento superficial na bacia experimental do Arroio Lajeado Ferreira, Arvorezinha-RS. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

SERAFIM, Gustavo da Silva. Reaproveitamento e destinação da torta do filtro prensa proveniente do tratamento de efluente da mineração de carvão. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Treviso, 2023.

SILVA, Andreza dos Santos. Aplicação de métodos simplificados para estimativa de carga sedimentar em sub-bacias urbanas. XXIV simpósio brasileiro de recursos hídricos. 2023.

SILVA, Gabriel Gomes. Análise do comportamento mecânico e hidráulico de codisposição de resíduos de mineração. 2024. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2023.

SOUZA, Luiz Humberto de Freitas et al. Modelo hidrodinâmico para análise de escoamento superficial em microdrenagem: uma contribuição à Geomorfologia Urbana. 2024. . Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2024.

SOUZA, Matheus Viana de. Elaboração de um banco de dados sobre desempenhos de filtros geotêxteis. 2022. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Brasília, DF 2022.

TAVARES, Gabriel Henrique de Souza. Desenvolvimento de metodologias para avaliação da eficiência de barreiras flutuantes. XV Encontro de Iniciação Científica do ICMBio. 2023.

UNESCO. World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. Paris, 2023.

ZAMBRANO, Karen Tavares. O papel dos sedimentos de fundo de rios e riachos na dinâmica do fósforo: estado da arte e avaliação preliminar do equilíbrio água-sedimento em ambientes tropicais. 2021. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ZANOTTI, Gabriela Rocha. Implementação de sistemas de bioretenção no controle de cheias urbanas. 2023.