



Metodologia ativa de aprendizagem baseada em projetos: desenvolvimento de planta piloto educacional de uma estação de tratamento de água utilizando *Moringa oleifera* Lam como coagulante

Active project-based learning methodology: development of an educational pilot plant for a water treatment station using *Moringa oleifera* as a coagulant

T. L. P. Maia^{1*}; E. M. Alencar¹; S. V. B. da Silva¹; C. T. S. Farias²;
B. A. S. Cavero²; W. G. dos Santos¹

¹Departamento de Engenharia Agrícola e Solos /Laboratório de Termodinâmica Aplicada, Universidade Federal do Amazonas, 69077-000, Manaus-Amazonas, Brasil

²Departamento de Engenharia de Pesca/Laboratório de Aquicultura Experimental/Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Amazonas, 69077-00, Manaus-Amazonas, Brasil

*thamillysmaia@gmail.com

(Recebido em 23 de janeiro de 2025; aceito em 02 de julho de 2025)

Este estudo apresentou a construção de um protótipo de baixo custo para uma Estação de Tratamento de Água, utilizando sementes de *Moringa oleifera* Lam como coagulante natural nas etapas de coagulação e flocação. O protótipo utilizou materiais acessíveis, tubulação de PVC e componentes reciclados. A água bruta foi coletada no Rio Negro (Manaus-AM), enquanto as sementes de *Moringa oleifera* foram processadas em pó para aplicação no tratamento. O sistema seguiu as etapas de coagulação, flocação, decantação, filtração e desinfecção. A eficiência do protótipo foi avaliada por meio de análises físico-químicas. Na água bruta, foram observados pH 6,43, cor 254 UC, turbidez 217 NTU, SDT 18 mg/L, SST 502 mg/L e ST 520 mg/L. Após a coagulação, os valores reduziram para cor 130 UC, turbidez 23,5 NTU, SDT 14 mg/L, SST 246 mg/L e ST 260 mg/L. Na flocação, ocorreram pequenas variações nos parâmetros, e após a decantação, os valores ajustaram-se para cor 152 UC, turbidez 24,5 NTU, SDT 18 mg/L, SST 272 mg/L e ST 290 mg/L. A filtração mostrou bons resultados na retenção de impurezas, enquanto a desinfecção com cloro contribuiu para a melhoria da qualidade microbiológica da água. Os resultados demonstraram que o protótipo é eficaz na redução de turbidez e matéria orgânica, evidenciando o potencial da *Moringa oleifera* como coagulante biodegradável e de baixo custo. Ademais, o projeto proporcionou uma experiência prática enriquecedora aos estudantes, integrando teoria e prática de maneira colaborativa.

Palavras-chave: rio Negro, protótipo de baixo custo, sustentabilidade ambiental.

This study presented the construction of a low-cost prototype for a Water Treatment Plant, using *Moringa oleifera* Lam seeds as a natural coagulant in the coagulation and flocculation stages. The prototype used accessible materials, PVC piping, and recycled components. Raw water was collected from the Rio Negro (Manaus-AM), while *Moringa oleifera* seeds were processed into powder for application in the treatment. The system followed the stages of coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection. The efficiency of the prototype was evaluated through physicochemical analyses. In the raw water, the following parameters were observed: pH 6.43, color 254 UC, turbidity 217 NTU, TDS 18 mg/L, SS 502 mg/L, and TS 520 mg/L. After coagulation, the values reduced to color 130 UC, turbidity 23.5 NTU, TDS 14 mg/L, SS 246 mg/L, and TS 260 mg/L. During flocculation, small variations in the parameters occurred, and after sedimentation, the values adjusted to color 152 UC, turbidity 24.5 NTU, TDS 18 mg/L, SS 272 mg/L, and TS 290 mg/L. Filtration showed good results in impurity retention, while chlorine disinfection contributed to the improvement of the microbiological quality of the water. The results demonstrated that the prototype is effective in reducing turbidity and organic matter, highlighting the potential of *Moringa oleifera* as a biodegradable and low-cost coagulant. Furthermore, the project provided an enriching practical experience for students, integrating theory and practice in a collaborative manner.

Keywords: rio Negro, low-cost prototype, environmental sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Na educação do século 21 as inovações em metodologias de ensino juntamente com as práticas pedagógicas têm se destacado no sistema educacional frente às limitações dos métodos convencionais de ensino ao perfil de aprendizagem atuais dos alunos, que interpretam e assimilam as informações de maneira diferente dos estudantes de gerações anteriores. Dessa forma, os educadores devem adotar uma pedagogia de processo deliberado e recíproco centrada nos alunos, empregando abordagens educacionais que coloquem os estudantes como agentes ativos em sua própria aprendizagem. A transmissão dos conteúdos deve ter relevância e aplicabilidade prática, promovendo o aperfeiçoamento das capacidades cognitivas, profissionais e sociais do corpo discente [1].

Sendo assim, as metodologias ativas emergem com um modelo díspar do tradicional, valorizando o conhecimento teórico e a construção pessoal do entendimento, ao motivar os estudantes a aprender a resolver problemas reais ou simulados. Essa abordagem prioriza a autonomia do aluno e facilita a aquisição de habilidades e competências, demonstrando o domínio das competências desenvolvidas através de sua aplicação em questões autênticas em episódios práticos [2, 3]. Nesse sentido, a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPj) é uma abordagem metodológica que vem ganhando destaque e tem sido cada vez mais empregada no campo educacional.

A Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPj) é um método de ensino-aprendizagem centrado no estudante e caracterizado pela aprendizagem ativa. Este método busca o desenvolvimento de habilidades socioemocionais e cognitivas, integração interdisciplinar, avaliação contínua e resolução de problemas durante o processo de educação. É uma metodologia que instiga a participação dos estudantes em projetos reais ou simulados, estimulando a habilidade de solucionar problemas e visando desenvolver habilidades de liderança, gestão, responsabilidade individual e de grupo, cooperação, interação e competências sociais, capacitando-os para as complexidades do âmbito profissional [2].

No que concerne às fases de um projeto, a sistematização de processos dentro das etapas de produção fornece equipamentos e máquinas projetadas para a otimização dos processos de produção. No campo da engenharia, esse desenvolvimento é evidenciado na criação e experimentação de plantas piloto, que são amplamente utilizadas por instituições educacionais e pelo corpo docente como uma forma de aprimorar sistemas pedagógicos, permitindo que discentes, técnicos, engenheiros e especialistas adquiram conhecimento prático de processos industriais. Elas são frequentemente empregadas em testes de bancada para diferentes processos ou atividades, de maneira a refletir as práticas industriais, oferecendo um ambiente seguro e controlado para os alunos aplicarem conhecimentos teóricos e adquirirem habilidades práticas [4].

Desta forma, a planta piloto oferece oportunidades de aprendizagem colaborativa, em que os alunos podem trabalhar em equipes para projetar experimentos, coletar dados e analisar resultados. Essa abordagem prática não só melhora a compreensão, mas também promove o pensamento crítico, a resolução de problemas e as habilidades de trabalho em equipe, essenciais para futuros profissionais em diversas áreas, elevando o nível de experiência de aprendizagem e proporcionando uma progressão das habilidades profissionais dos educandos. Além disso, possibilita aos educadores o aprimoramento dos seus métodos de ensino, adaptando-os às diversas necessidades de aprendizagem [4].

Uma das questões centrais nas etapas de projeto e desempenho de uma Estação de Tratamento de Águas (ETA) é a garantia da disponibilidade e qualidade da água bruta captada. Além disso, a definição da quantidade de habitantes a ser atendida, a taxa de crescimento populacional, os custos de operação, o tipo adequado de tratamento de água e os impactos ambientais também devem ser considerados. Para atender aos padrões de qualidade de água exigidos pela legislação e garantir a segurança e aceitabilidade do consumidor, diversas tecnologias e operações unitárias podem ser empregadas. No Brasil, o método de tratamento de água mais adotado é o tratamento convencional ou em ciclo completo, que abrange as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção [5, 6].

Dentre as etapas de tratamento convencional de água, destaca-se a etapa de coagulação. A coagulação é um processo que envolve agentes químicos aplicados para eliminar as impurezas da água bruta captada com a desestabilização das partículas coloidais suspensas na água, removendo assim a sua turbidez. Os coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ e o cloreto férreo $FeCl_3$. Porém, o alumínio não é biodegradável e, em altas concentrações, produz compostos indesejáveis nas águas. Além de que a formação de lodo e a redução da alcalinidade no meio resultam em custos adicionais para o ajuste de pH [7].

Desse modo, o emprego de coagulantes naturais no tratamento convencional tem se mostrado cada vez mais vantajosos em relação aos agentes químicos por serem biodegradáveis, atóxicos, com baixa geração de lodo e baixo custo de produção. Dentro do grupo de coagulantes naturais, a *Moringa oleifera* Lam vem se destacando por ser uma ótima alternativa de coagulante devido suas propriedades poliméricas naturais. O pó obtido das sementes da moringa atua como um agente clarificador devido uma proteína catiônica que desarranja as partículas contidas em meio líquido, podendo reduzir de maneira eficiente a turbidez da água e remover matéria orgânica presente nela. Todas essas características, aliadas ao baixo custo de produção, destacam a vantagem da utilização da moringa como coagulante natural em comparação aos coagulantes químicos no tratamento de águas [8, 9].

Neste contexto, este artigo tem por objetivo desenvolver uma planta piloto de baixo custo e fácil implementação para uma estação de tratamento de água (ETA) e avaliar a eficiência purificante da semente de *Moringa oleifera* como coagulante nas etapas de coagulação e flocação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do projeto, baseada em Torres et al. (2025) [10], foi elaborada visando obter um protótipo de baixo custo de uma estação de Tratamento de água (ETA), dividido em (1) Pesquisa bibliográfica, (2) Desenho Técnico do Protótipo, (3) Montagem - teste e (4) Análises físico químicas. As etapas 1, 2 e 3 foram realizadas no Laboratório de Termodinâmica Aplicada (LABTERMO), localizado na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), enquanto a 4 foi realizada no Laboratório de Monitoramento e Tratamento de Efluentes (LMTE) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Campus Manaus.

2.1 Áreas de estudo

2.1.1 Coleta da água bruta

A amostra de água bruta foi coletada do Rio Negro, ao longo da orla da Ponta Negra, localizada em Manaus, Amazonas ($3^{\circ}3'55.44"S; 60^{\circ}6'7.66"W$), como mostra a Figura 1. O Rio Negro é o principal afluente da margem esquerda do rio Amazonas e a segunda maior sub-bacia amazônica, abrangendo uma área de até $600.000 km^2$ que se estende pelos estados do Amazonas e de Roraima. O clima da região é caracterizado como tropical úmido, com precipitação média de 2566 mm/ano e temperaturas médias que variam de $26^{\circ}C$ no inverno e $33^{\circ}C$ no verão [11].

A coleta da água foi feita em novembro de 2023, no período de estiagem. Cerca de 50 litros de amostra foram coletados da superfície da água e armazenados em garrafas pet de 20 litros. Durante o período de coleta, foi registrado um índice pluviométrico superior a 38 milímetros na cidade de Manaus [12].



Figura 1: Área de coleta da água do Rio Negro.

2.1.2 Coleta da *Moringa oleifera*

As amostras de *Moringa oleifera* foram coletadas na Área Experimental da Faculdade de Ciências Agrarias da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) entre as coordenadas geográficas $3^{\circ}06'07.1''S$ e $59^{\circ}58'33.7''W$, conforme a Figura 2.

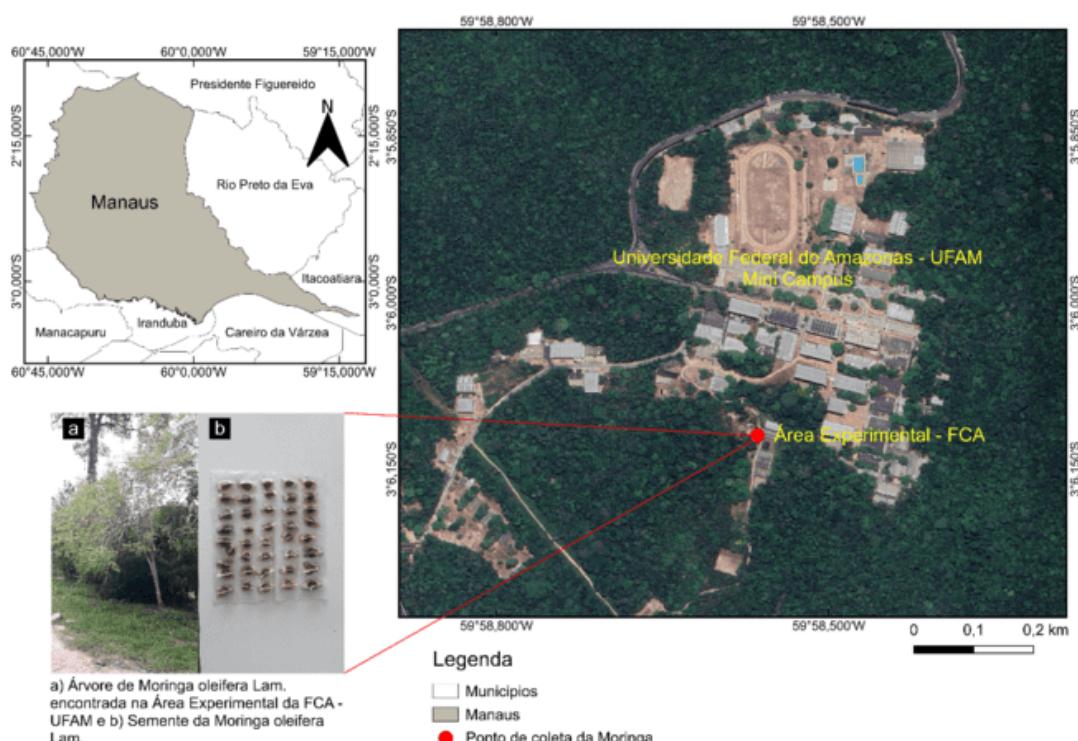


Figura 2: Área de coleta da *Moringa oleifera*.

2.2 Preparo do pó da semente de *Moringa oleifera* (MO)

Seguindo a metodologia utilizada por Santos et al. (2023) [9] com adaptações, as sementes foram descascadas manualmente e trituradas em liquidificador convencional. Em seguida, o pó obtido foi peneirado com o auxílio de peneira convencional para a padronização do tamanho das partículas. O processo de obtenção do pó da semente pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3: Fluxograma do preparo do pó da semente de *Moringa oleifera*.

2.3 Planejamento do modelo do protótipo

Para Bautista (2009) [13] um projeto viável compreende a investigação, elaboração e otimização de um projeto de modelo operacional de resolução de problemas, quesitos ou necessidades de instituições ou grupos sociais. Seguindo as ideias expostas, essa pesquisa apresenta um desenho de planta piloto de uma estação de tratamento de água

Para a construção do protótipo da estação de tratamento de água, inicialmente, realizou-se uma pesquisa científica, contendo o levantamento de informações e pesquisa bibliografia, para assim, gerar um modelo apropriado para a escala desejada. O estudo de caso resultou no desenvolvimento de um protótipo de fluxo descendente que contém os mesmos princípios de uma estação de tratamento de água convencional, contendo etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração.

Para as etapas de coagulação, floculação e decantação, utilizou-se como tanque estruturas de caixas plásticas e um balde de 12 L com torneira para o processo de filtração. O sistema de distribuição ocorreu de forma indireta sem bombeamento, ocorrendo puramente por gravidade.

2.4 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do protótipo foram escolhidos visando manter o padrão de qualidade e ao mesmo tempo o baixo custo e os processos de fabricação simples e estão listados na Tabela 1.

Tabela 1: Lista de equipamentos e valor unitário.

Qtd.	Equipamentos	Valor Unitário (R\$)
2	Tanque 36x56 cm	-
1	Tanque	-
1	Cano pvc 1/2" x 1 m	7,29
3	Registro esfera sold 20 mm	8,00
3	Adaptador com flange 20 mm x 1/2	14,75
1	Serrinha Starret	12,79
1	Fita veda rosca 18 mm x 50 m	6,90
1	Adesivo plástico para pvc	9,69
1	Torneira	4,00
1	Balde de 12 L	33,91
1	Tampa de balde	-
1	Bomba	-
Total		142,83

Os tanques utilizados na elaboração do protótipo da estação de tratamento de água foram fornecidos pelo Laboratório de Aquicultura Experimental – LAqEx da Universidade Federal do Amazonas. A confecção do protótipo da estação de tratamento de água foi realizada no Laboratório de Termodinâmica Aplicada – LABTERMO da Universidade Federal do Amazonas.

2.5 Construção do protótipo

Primeiramente, o tubo pvc de 1/2" foi dividido em quatro partes de 230 mm de comprimento cada, com o auxílio de uma serrinha Starret. Os tubos foram ligados em registro esfera, objetos que serviram como válvula de controle, para cadenciar a pressão e velocidade de escoamento do fluido.

Em seguida, fez-se furos de 20 mm de diâmetro nas extremidades dos tanques nos quais adaptadores com flange 20 mm x 1/2 foram utilizados para a ligação da tubulação aos tanques. Após a adição dos adaptadores, os canos com registro, anteriormente preparados, foram conectados aos tanques para a passagem da água.

2.6 Montagem do filtro

Para a montagem do filtro, foram feitas múltiplas aberturas de 8,5 mm de diâmetro na tampa de um balde com o auxílio de uma furadeira para a retenção de sólidos maiores e controle de velocidade de escoamento. Foi possível a utilização de material reaproveitado como britas e seixos de entulhos de uma construção civil próxima ao local da confecção, tendo em vista o bom estado do material, para a construção do filtro. A brita, a areia média e o seixo foram previamente lavados e isentos de materiais orgânicos.

A montagem do filtro seguiu o modelo utilizado por Santos et al. (2023) [9] com adaptações. O filtro tem fluxo descendente, e teve a seguinte ordem de montagem: 1) Resíduo cerâmico (tijolo) foi colocado dentro do balde vazio e utilizado como base de sustentação para o filtro; 2) Tampa com múltiplos orifícios de 8,5 mm; 3) Seixo marrom de 20 a 40 mm; 4) Areia média com granulometria de 0,42 a 2 mm; 5) Brita 1 e 2 misturada, com diâmetro de 19 a 25 mm. A Figura 4 ilustra o esquema do filtro com a disposição das camadas.

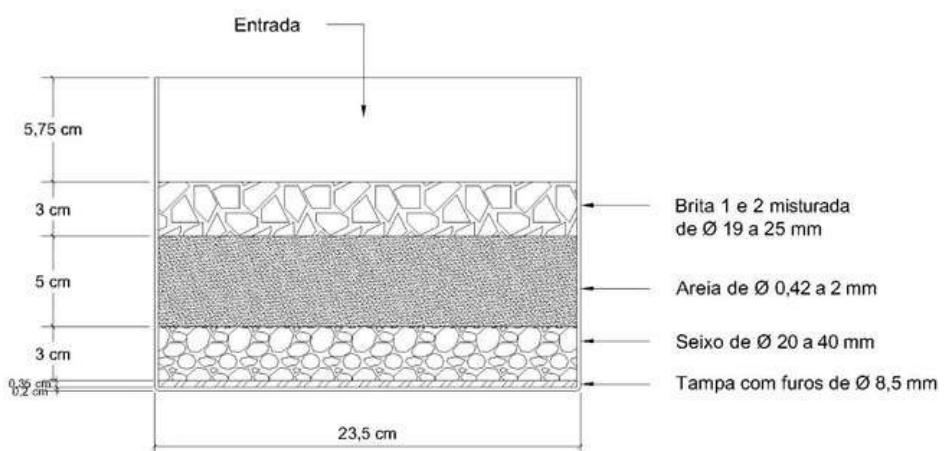


Figura 4: Filtro com a disposição das camadas.

A água residuária utilizada na lavagem do sistema antes do ensaio com a água bruta foi proveniente das torneiras de instalações da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas. Para prevenir o bloqueio do filtro, utilizou-se o fluido até completa eliminação dos materiais grosseiros.

2.7 Análises físico-químicas

Para a análise de potencial hidrogeniônico (pH), utilizou-se pHmetro digital. A turbidez e cor aparente (EL) foram medidas com turbidímetro de bancada Alfakit AT10P® (Alfakit Ltda, Florianópolis, SC, Brasil). O parâmetro de sólidos dissolvidos totais (TDS) foi monitorado com o auxílio de medidor multiparâmetro Akso AK88v2® (Akso Produtos Eletrônicos Ltda, São Leopoldo, RS, Brasil). Os parâmetros de sólidos totais (ST) e sólidos totais em suspensão (SST) foram realizados pelo método titulométrico de complexação de acordo com Macedo (2005) [14]. Utilizou-se a equação 1 para o cálculo da porcentagem de redução dos parâmetros analisados.

$$\text{Redução (\%)} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \times 100$$

2.8 Análise estatística

Os resultados foram analisados utilizando análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, empregando o software R para as análises estatísticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Protótipo da ETA

Uma representação do protótipo com estrutura, encaixes e etapas da estação de tratamento de água construído foi desenvolvida no AutoCAD 2025® [15] e pode ser vista na Figura 5.

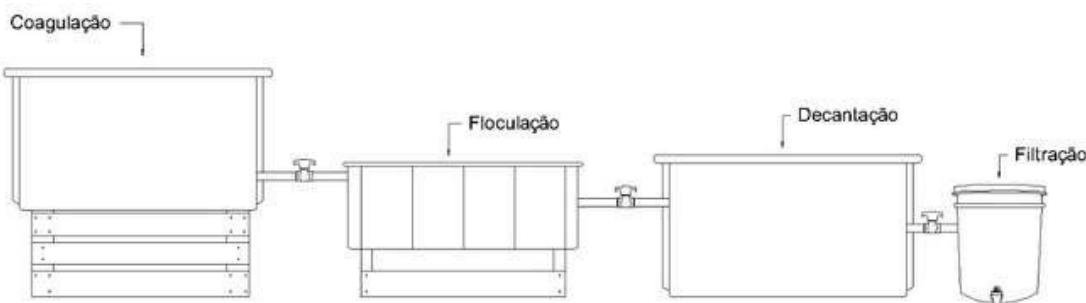


Figura 5: Desenho do protótipo da ETA.

A montagem e instalação do protótipo foi realizada conforme o escopo e atribuições do projeto, resultando em uma implantação bem sucedida. O curso da água foi iniciado no tanque principal (coagulação), seguindo para as demais etapas por meio da ação da gravidade, os registros esféricos foram acionados manualmente e serviram para controlar e cadenciar a pressão e velocidade do escoamento da água.

No tanque principal (etapa de coagulação), foram adicionados 40 litros da água bruta coletada do Rio Negro e 0,375 g/L de pó da semente de *Moringa oleifera*. Em seguida, a água foi agitada manualmente de maneira contínua e rápida por 3 minutos, para a desestabilização das partículas de sujeira.

No segundo tanque (etapa de floculação), a agitação foi contínua e lenta por 3 minutos, para que as partículas em suspensão na água fossem agregadas. A velocidade de escoamento do fluido para o terceiro tanque (etapa de decantação) foi lenta e moderada para evitar a desestabilização das partículas agregadas e favorecer o processo de sedimentação. Esperou-se a

passagem completa da água para o tanque de decantação, depois de estabilizada a água foi transferida para o filtro.

O filtro apresentou um ótimo desempenho de fluxo de escoamento, e as camadas dispostas apresentaram resultados satisfatórios no processo de retenção das impurezas restantes e limpeza da água. Na etapa de desinfecção, adicionou-se cloro residual livre na concentração de 0,2 mg/L, conforme as recomendações da legislação brasileira vigente [16], para a eliminação de microrganismos patogênicos. Por fim, uma amostra de 500 ml da água de cada etapa foi coletada para a realização das análises físico-químicas.

De modo geral, o protótipo operou de forma adequada e eficiente, produzindo uma água tratada requerida, obtendo resultados satisfatórios em suas características visual e olfativo. No entanto, faz-se necessária a realização de análises físico-químicas e microbiológicas na água tratada para comprovar a eficácia do protótipo na purificação da mesma. Ademais, a construção da planta piloto da estação de tratamento de água alcançou o objetivo de proporcionar aos discentes a junção da teoria e prática dos conteúdos estudados durante a graduação, contribuindo de maneira significativa nas habilidades individuais e em grupo, bem como, contribuir com a saúde coletiva e do planeta ao difundir técnicas que incentivam o tratamento e reuso da água, com possibilidade de economia ao desenvolver uma estação de tratamento de água de baixo custo.

3.2 Análises físico-químicas

Os valores obtidos nas análises foram interpretados segundo a resolução do CONAMA nº 357 de 2005 atualizada para 430/2011 [17] que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e da portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde [16] que dispõe sobre os procedimentos de controle de vigilância da qualidade da água para consumo humano. Nas Tabelas 2 e 3 estão dispostos os resultados dos parâmetros de pH, cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos totais em suspensão (SST) e sólidos totais (ST) do efluente bruto e do efluente tratado, respectivamente.

Tabela 2: Caracterização do efluente bruto quanto aos parâmetros de pH, cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais em suspensão e sólidos totais.

Amostra	Parâmetros					
	pH	Cor aparente (UC)	Turbidez (NTU)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Sólidos totais em suspensão (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)
CONAMA 357/2005	6 a 9	-	100	500	-	-
Água bruta	6,43	254	217	18,00	502,00	520,00

Tabela 3: Caracterização do efluente tratado quanto aos parâmetros de pH, cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais em suspensão e sólidos totais.

Amostra	Parâmetros					
	pH	Cor aparente (UC)	Turbidez (NTU)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Sólidos totais em suspensão (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)
Portaria GM/MS 888/2021	6 a 9	15	5,0	500	-	-
Água tratada	5,97	41	1,07	43,00	47,00	90,00

Os resultados da porcentagem de redução dos parâmetros analisados estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Redução percentual dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Redução (%)
pH	7,15
Cor Aparente (UC)	83,8
Turbidez (NTU)	99,5
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	-
Sólidos totais em suspensão (mg/L)	90,6
Sólidos totais (mg/L)	82,6

A resolução do CONAMA 357/2005 [17] e a Portaria GM/MS 888/2021 [16] estabelecem que o pH deve apresentar-se na faixa de 6,0 a 9,0 para ser fornecido a comunidade. A caracterização do efluente bruto apresentou pH de 6,43, e após o tratamento com a moringa obteve uma redução de 7,15% do seu valor inicial, apresentando pH igual à 5,97, resultado inferior ao estabelecido pela legislação. Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Ballestrin et al. (2021) [18] que obteve variações de pH entre 7,24 e 7,26 no seu estudo sobre a aplicação de extrato de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante e como auxiliar de coagulação para tratamento de água destinada ao abastecimento, e com os de Santos et al. (2023) [9] que obteve uma redução de 15% com pH inicial e final de 8,50 e 7,15, respectivamente. O resultado demonstra que o pó das sementes de MO apesar de reduzir não altera de maneira significativa o pH da água tratada. Segundo De Sousa et al. (2020) [19], isso deve-se ao fato de que o pH tende a diminuir em função do aumento da concentração do coagulante, precisando de agentes alcalinizantes para a correção do mesmo.

A Figura 6 mostra os dados da cor aparente nos pontos de adução, coagulação, floculação, decantação e filtração. Os resultados obtidos demonstram que houve um decréscimo significativo nos valores de cor e turbidez, apresentando redução de 83,8% e 99,5%, respectivamente. O valor de saída da cor aparente (41 UC), embora reduzido, não está de acordo com o estabelecido pela Portaria nº 888/21 [16], na qual estabelece valor máximo permitido de 15 UC para a cor aparente. Já o resultado da turbidez (1,07 NTU) se enquadra no limite estabelecido pela portaria que é de 5 NTU para a turbidez da água tratada.

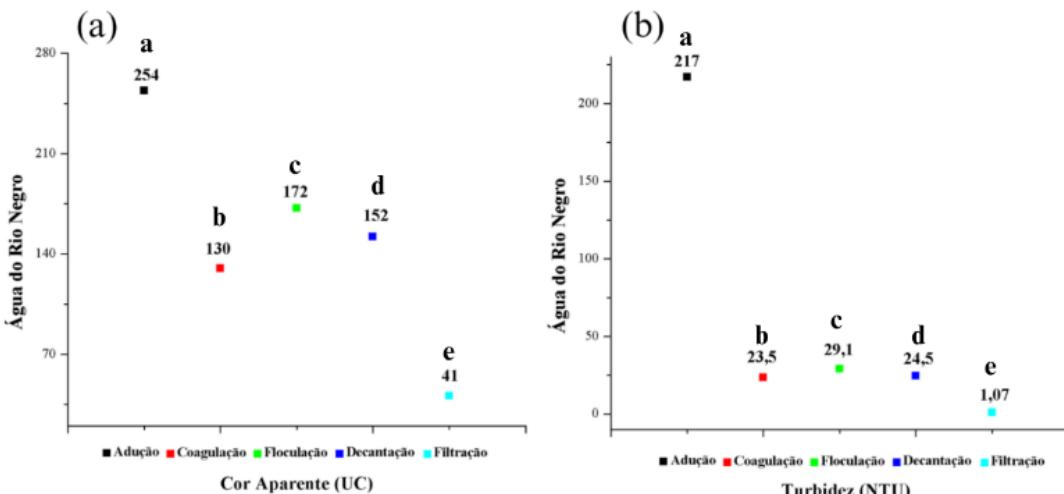


Figura 6: Valores da cor aparente (a) e turbidez (b) nos pontos de adução, coagulação, floculação, decantação e filtração. Letras distintas (a, b) no mesmo gráfico indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

Estes resultados estão compatíveis com os de De Sousa et al. (2020) [19] que alcançou mais de 95% de remoção de cor e turbidez, com o pó da semente de MO na concentração de 0,125 g/L em sua avaliação das sementes de moringa como coagulante no tratamento de água resíduária proveniente do abate de rã-touro. Estudo feito por Desta et al. (2021) [20] obteve

98,5% de remoção de turbidez na concentração de 0,467 g/500 ml. Já Nhut et al. (2021) [21] conseguiu cerca de 83% de eficiência na remoção de turbidez. Santos et al. (2019) [22] realizaram estudo com diferentes coagulantes em água do rio negro e obteve como coagulante mais eficiente para o teste realizado com sementes de açaí uma redução de 47,9%. Hamid et al. (2014) [23] relatou que as sementes de *Moringa oleifera* contêm um composto bioativo de coagulação que lhes garante a capacidade de apresentar altos índices de redução da turbidez e cor.

Os sólidos suspensos totais estão relacionados com a presença de substâncias como o lodo, alga, sedimentos em suspensão na água. Uma elevada concentração de SST em água indica uma possível carga de contaminantes e luminosidade reduzida. A Figura 7 mostra os dados dos sólidos totais em suspensão (a) e sólidos dissolvidos totais (b) nos pontos de adução, coagulação, floculação, decantação e filtração.

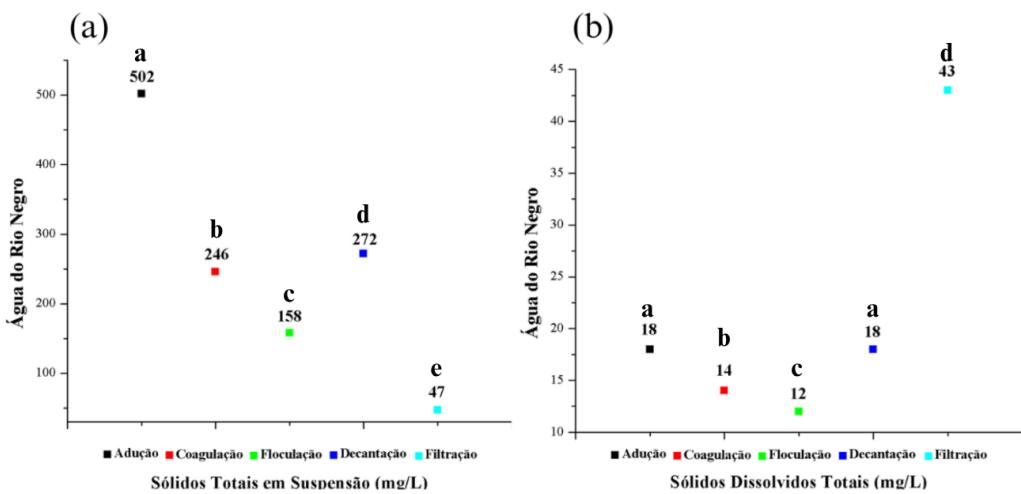


Figura 7: Valores dos sólidos totais em suspensão (a) e sólidos dissolvidos totais (b) nas etapas de tratamento. Letras distintas (a, b) no mesmo gráfico indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

A legislação brasileira vigente não possui valor máximo permitido para os sólidos totais em suspensão. Contudo, observa-se uma diminuição expressiva nas quantidades de SST em cada etapa de tratamento, atingindo uma redução de 90,6% no final do tratamento. Valores aproximados foram encontrados por Oliveira et al. (2011) [24] na análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera*, onde obteve cerca de 84% de redução na concentração de 500 mg/L e por De Souza et al. (2017) [25] que teve remoção acima de 98% dos sólidos suspensos em seus ensaios sobre a aplicação da *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de efluente simulado de laticínio.

O valor de sólidos dissolvidos totais da água tratada após a etapa de filtração atingiu o pico de 43 mg/L, um aumento de 138% em comparação ao valor inicial de 18 mg/L, mesmo com o acréscimo de SDT na água pós filtração, o resultado ainda se enquadra dentro do limite exigido pelo CONAMA 357/2005[16] e Portaria GM/MS 888/21[15] que estabelecem valor máximo de 500 mg/L. Resultados similares foram obtidos por Valverde et al. (2018) [26] no seu estudo sobre o tratamento combinado de água com extrato natural de *Moringa oleifera* e coagulante sintético, onde encontrou resultados de 50 e 43 mg/L usando dosagens de 80%/20% e 60%/40% MO/PAC, respectivamente.

A Figura 8 mostra os dados dos sólidos totais em suspensão nos pontos de adução, coagulação, floculação, decantação e filtração.

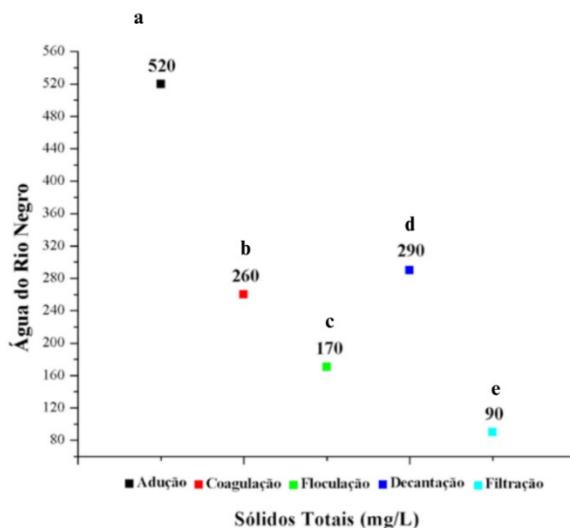


Figura 8: Sólidos totais nos pontos de adução, coagulação, floculação, decantação e filtração. Letras distintas (a, b) no mesmo gráfico indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

A análise dos sólidos totais (ST) ao longo do tratamento da água do Rio Negro demonstra a eficiência geral do processo, embora apresente inconsistências pontuais. Na etapa de adução, a concentração inicial de 520 mg/L reflete as características naturais do rio, marcado pela alta carga de sedimentos e matéria orgânica [27]. Durante a coagulação, os ST são reduzidos para 260 mg/L, evidenciando a eficácia do coagulante natural na formação de flocos sedimentáveis. Na etapa de floculação, os ST diminuem ainda mais, atingindo 170 mg/L, o que indica sucesso na agregação e no crescimento dos flocos [28].

Entretanto, na etapa de decantação, observa-se um aumento inesperado na concentração de ST, chegando a 290 mg/L. Esse resultado sugere possíveis falhas no sistema, como a ressuspensão de partículas ou tempo de detenção inadequado. Por fim, a filtração reduz os ST para 90 mg/L, confirmando sua eficiência na remoção de partículas remanescentes e garantindo que a água tratada atenda aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação.

Em termos estatísticos, observou-se $p < 0,05$, representados com letras distintas (a, b...), significando que as variações observadas entre os pontos (Adução vs. Coagulação, Coagulação vs. Floculação, Floculação vs. Decantação, Decantação vs. Filtração) não são aleatórias, mas sim resultados de efeitos reais dos processos de tratamento (ou possíveis falhas no processo, como no caso da decantação).

4. CONCLUSÃO

Como ferramenta de ensino, a construção do protótipo serviu como uma representação tangível dos conceitos aprendidos em sala de aula e a aplicação prática desses conhecimentos. Através da construção e operação do protótipo, as alunas obtiveram informações sobre as complexidades da gestão da água e os desafios de garantir o acesso à água limpa. Além disso, a natureza colaborativa deste projeto incentiva o trabalho em equipe, a resolução de problemas e a inovação, capacitando os alunos com habilidades cognitivas e socioemocionais para o âmbito profissional.

O valor dos materiais utilizados na montagem do protótipo citados na Tabela 1 demonstram que a planta piloto é de baixo custo e simples replicação, podendo ser reproduzida por discentes de diferentes graus de ensino.

O pó das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante demonstrou alta eficácia no tratamento de água, podendo ser utilizada com uma tecnologia alternativa. No entanto, mais testes como análise microbiológica precisam ser realizados para garantir a inocuidade e potabilidade da água tratada com esse coagulante.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Termodinâmica Aplicada (LABTERMO-UFAM), ao Laboratório de Aquicultura Experimental – (LAqEx - UFAM) e Laboratório de Monitoramento e Tratamento de Efluentes - (LMTE) pela infraestrutura e análises realizadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Severo CEP. Aprendizagem baseada em projetos: uma experiência educativa na educação profissional e tecnológica. *Rev Bras Educ Profiss Tecno.* 2020 Abri;2(19):e6717. doi: 10.15628/rbept.2020.6717
2. Cecílio WAG, Tedesco DG. Aprendizagem baseada em projetos: relato de experiência na disciplina de Geometria Analítica. *Rev Docênc Ens Sup.* 2019 Set;9:1-20. doi: 10.35699/2237-5864.2019.2600
3. Calper GL, De Almeida LF, Monteiro EP. Desenvolvimento de competências científico-ambientais por aprendizagem baseada em projetos no ensino de química. *Rev Serg Educ Ambi.* 2023 Out;10:1-21. doi: 10.47401/revisea.v10.19678
4. Barrios J, Ferrer-Riquett C, Rosillón-Olivares K. Planta piloto de bombas hidráulicas para la enseñanza aprendizaje de la mecánica de fluidos. *Rev Técnico Educ Docent.* 2020 Abr;9(1):124-31. doi: 10.37843/rted.v9i1.116
5. Rosa MS, Balieiro LT, Pedreiro MRM. Dimensionamento de redes coletoras de esgoto sanitário: análise de pârametros e critérios de projeto. *Rev Ibero-Ame Human Ciênc Educ.* 2024 Dez;10(12):606-22. doi: 10.51891/rease.v10i12.17284
6. Brasil. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. Guia prático de inspeção sanitária em formas de abastecimento de água para consumo humano. Brasília (DF): MS; 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svs/vigilancia-ambiental/guia-de-inspecao-sanitaria-abastecimento-de-agua-para-consumo-humano>
7. Soares EJS, Barbosa MGN, Andrade TCS, Dos Santos WB, Silveira TN, Ferreira WB. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. *Rev Ibero-Am Ciênc Ambi.* 2021 Fev;12(2):292-302. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0027
8. Pereira ER, Francisco A, Theodoro JD, Bergamasco R, Fidelis R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. *Encycl Bio.* 2015 Jun;11(21):3010-20.
9. Santos L, De Sousa IF, Barbosa SA, Da Silva GF. Efficiency's Analysis of different biomasses in the treatment of "Barreiro Trincheira" water for human consumption. *Rev Gest Soc Ambi.* 2023 Feb;17(1):e03000. doi: 10.24857/rgsa.v17n1-025
10. Torres KAT, Dias IS, Dos Santos AR, Adelino MA, Tomaz BB, Ribeiro VP, et al. Aprendizagem baseada em projetos: aplicação em engenharia bioquímica. *Arac.* 2025 Jan;7(1):575-90. doi: 10.56238/arev7n1-034
11. De Souza JJ, Soares EAA, Tatumi SH, Tarabossi RRP, Yee M, Dino R, et al. Caracterização multitemporal de barras fluviais no arquipélago de Mariuá, Médio Rio Negro, Amazonas. *Rev Geonor.* 2024 Fev;15(48). doi: 10.21170/geonorte.2024.V.15.N.48.147.165
12. G1 AM [Internet]. Chove acima de 30 milímetros no Amazonas; Inmet prevê mais chuva. Globo; 23 nov 2023 [citado em 12 ago 2025]. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/11/23/chove-acima-de-30-milimetros-no-amazonas-inmet-preve-mais-chuva.ghtml>
13. Bautista M. Manual de Metodología de Investigación. 3. ed. Caracas (VEN): Talitip; 2009.
14. Macêdo JAB. Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas. 3. ed. Belo Horizonte (MG): Conselho Regional de Química; 2005.
15. Autodesk, Inc. AutoCAD 2025. Versão 58.0.0. Autodesk. 2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
16. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 05 mai 2021; (Seção 1):112. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html
17. Brasil. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 18 mar 2005;(Seção 1):58. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450
18. Ballestrin CS, Consolin-Filho N, Souza WE, Silva-Medeiros FV. Aplicação de extrato de sementes de *Moringa oleifera* Lam como coagulante e como auxiliar de coagulação para tratamento de água

- destinada ao abastecimento. Rev Virt Quim. 2021 Jan;13(2):347-60. doi: 10.21577/1984-6835.20200151
19. De Sousa JS, Silva EO, Oliveira PTB, Marques DID, Quirino MR, Lucena GL. Sementes de moringa como coagulante natural no tratamento de água residuária proveniente do abate de rã-touro (*Lithobates catesbeianus*). Pesq Ens Ciênc Exat Nat. 2020;4(1):25. doi: 10.29215/pecen.v4i0.1487
20. Desta WM, Bote ME. Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. Heliyon. 2021 Nov;7(11):e08451. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08451
21. Nhut HT, Hung NTQ, Lap BQ, Han LTN, Tri TQ, Bang NHK, et al. Use of *Moringa oleifera* seeds powder as bio-coagulants for the surface water treatment. Int J Environ Sci Technol. 2021 Aug;18:2173-80. doi: 10.1007/s13762-020-02935-2
22. Santos WG, De Oliveira AFA, Dos Santos CL, Cavalcante JA, Santos JP, Rodrigues LF, et al. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes no tratamento de água do rio negro. In: Avanços da Nutrição 4. 1. ed. Ponta Grossa (Brasil): Atena; 2019. p. 32-7. doi: 10.22533/at.ed.4391924053
23. Hamid SHA, Lananan F, Din WNS, Lam SS, Khatoon H, Endut A, et al. Harvesting microalgae, *Chlorella* sp. by bioflocculation of *Moringa oleifera* seed derivatives from aquaculture wastewater phytoremediation. Int Biodeterior Biodegrad. 2014 Nov;95:270-5. doi: 10.1016/j.ibiod.2014.06.021
24. Oliveira LLC, Ferreira GG, Ferreira GR, Corrêa LF, Pereira RR. Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera* Lam. Rev Bras Agropec Sustent. 2011 Jul;1(1):204-10. doi: 10.21206/rbas.v1i1.30
25. De Souza BFB, Circunvis BC, Souza MCM, Piccoli KR. Aplicação da *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de efluente simulado de laticínio. Publ UEPG: Ciênc Biológ Saúde. 2017;23(2):118-25. doi: 10.5212/Publ.Biologicas.v.23i2.0004
26. Valverde KC, Paccola EAS, Pomini AM, Yamaguchi NU, Bergamasco R. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. Rev Ambient Água. 2018 Mar;13(3):e2135. doi: 10.4136/ambi-agua.2135
27. Moreira-Tureq P, Seyler P, Guyot JL, Etcheber H. Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. Hydrolog Proces. 2003 Apr;17(7):1329-44. doi: 10.1002/hyp.1287
28. Tchobanoglou G, Burton F, Stensel, HD. Wastewater engineering: treatment and reuse. American Water Works Association Journal. 4. ed. New York (NY): McGraw-Hill; 2003.