



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**REUSO DE ÁGUAS NA IRRIGAÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS DE *Libidibia*
ferrea (JUCÁ)**

ANA THAMIRES DA FROTA MENDES

FORTALEZA - CE
2026

ANA THAMIRES DA FROTA MENDES

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais, do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Michael Barbosa Viana.

Coorientador: Prof. Dr. Lamartine Soares Cardoso de Oliveira.

FORTALEZA - CE

2026

ANA THAMIRES DA FROTA MENDES

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais, do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: 20/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Michael Barbosa Viana (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Lamartine Soares Cardoso de Oliveira (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco das Chagas Gomes da Silva Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará (IFCE)

Esp. Larissa Maria Chaves de Oliveira
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dedico este trabalho em memória de minha tia, dona Aurilene. Mulher guerreira, cuja luz, alegria e fé inabalável são fonte de força e resistência em meus caminhos. Que a sua lembrança siga viva e nos iluminando, e que seu desejo incessante pela vida continue nos inspirando a nunca deixar de sonhar, mesmo em meio às dificuldades, assim como ela sempre fez.

Aos meus pais, Aurineide e Vandembergue, e à minha irmã Thais, por todo o amor, suporte e dedicação ao longo de minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Michael Viana e Lamartine Soares, pela orientação e suporte.

Ao meu noivo e melhor amigo, Pedro Vítor, pelo apoio e companheirismo em todas as etapas deste trabalho, e não somente nele.

Ao Aqua Park e aos funcionários da ETE, que fizeram parte desta pesquisa.

À ETE da Universidade Federal do Ceará - *campus* Pici.

Ao Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL) do Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR.

Ao Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP) - LABOMAR.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN) da UFC, *campus* Pici.

Aos meus amigos Keivia Lino e Amilson Florêncio, pela ajuda com as análises laboratoriais.

Ao meu grande amigo Miguel Vieira, pelo suporte na estruturação do trabalho.

Aos funcionários da Universidade Federal do Ceará, que me ajudaram durante o plantio das mudas e coleta de águas, além da parceria e amizade.

A Deus, que me deu força e determinação para prosseguir, mesmo nos dias mais difíceis.

RESUMO

Considerando a importância do cultivo de mudas florestais de espécies nativas na revegetação de áreas degradadas do semiárido nordestino, bem como a importância da reutilização de águas residuárias na preservação dos recursos hídricos naturais, o presente trabalho teve como objetivo analisar o desenvolvimento de mudas florestais de *Libidibia ferrea* (Jucá), irrigadas com 4 diferentes fontes de águas, sendo de esgoto doméstico de reator UASB, esgoto doméstico tratado por lodos ativados, água de corpo hídrico eutrofizado e água potável, em quantidades iguais. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do departamento de Agronomia, da Universidade Federal do Ceará (UFC), *campus* Pici, situado no município de Fortaleza-CE. O período de irrigação das mudas foi de 09 de Abril a 11 de Junho de 2025. As análises realizadas foram das respectivas variáveis: altura total da planta, diâmetro da base e número de folhas, onde os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias obtidas para cada tratamento foram comparadas pelo teste de Tukey (à 5% de probabilidade), utilizando-se o programa IBM SPSS Statistics 22. A análise indicou que as mudas irrigadas com efluente de reator UASB apresentaram maiores valores médios de Altura Total (36,92 cm), e Número de Folhas (128,83), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ($p < 0,05$), demonstrando que a substituição da água bruta por efluente doméstico influenciou, de forma positiva, no desenvolvimento das mudas florestais de Jucá para estas variáveis, visto que os resultados foram mais favoráveis com o uso do efluente de reator UASB, quando comparado às outras fontes de água utilizadas.

Palavras-chave: Reúso. Semiárido. Jucá. Revegetação de áreas degradadas.

ABSTRACT

Considering the importance of cultivating forest seedlings of native species in the revegetation of degraded areas in the northeastern semiarid region, as well as the relevance of wastewater reuse in the preservation of natural water resources, the present study aimed to analyze the development of forest seedlings of *Libidibia ferrea* (Jucá), irrigated with four different water sources: domestic sewage from a UASB reactor, domestic wastewater treated by activated sludge, water from an eutrophic water body, and potable water, in equal amounts. The experiment was conducted in the greenhouse of the Department of Agronomy at the Federal University of Ceará (UFC), Pici campus, located in Fortaleza-CE. The irrigation period of the seedlings was from April 9 to June 11, 2025. The analyses were performed on the respective variables: total plant height, base diameter and number of leaves, were subjected to analysis of variance (ANOVA), and the means obtained for each treatment were compared using Tukey's test (at 5% probability), with the software IBM SPSS Statistics 22. The analysis indicated that seedlings irrigated with UASB reactor effluent showed higher average values for Total Height (36.92 cm) and Number of Leaves (128.83), differing statistically from the other treatments ($p < 0.05$), demonstrating that the substitution of raw water with domestic effluent positively influenced the development of Jucá forest seedlings for these variables, since the results were more favorable with the use of UASB reactor effluent when compared to the other water sources used.

Keywords: Reuse. Semiarid. Jucá. Revegetation of degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1</u>	– Árvore do Jucá, localizada no departamento de Biologia da UFC, campus Pici	15
<u>Figura 2</u>	– Caule do Jucá	16
<u>Figura 3</u>	– Evolução do processo de eutrofização de um lago ou represa	22
<u>Figura 4</u>	– Representação esquemática de um reator UASB	26
<u>Figura 5</u>	– Representação esquemática do sistema de Lodos Ativados	27
<u>Figura 6</u>	– Casa de Vegetação do setor de Agricultura, UFC Campus do Pici	28
<u>Figura 7</u>	– Mudas de Jucá após o plantio para processo de adaptação	29
<u>Figura 8</u>	– Becker de vidro contendo hidrogel para utilização no substrato	30
<u>Figura 9</u>	– Altura total (A), número de folhas (B) e diâmetro basal (C) de mudas de Jucá (<i>Libidibia ferrea</i>) irrigadas com efluente de reator UASB (linha verde), efluente de lodos ativados (linha azul), água de reservatório eutrofizado (linha laranja) e água potável como controle (linha vermelha).....	36
<u>Figura 10</u>	– Taxa de crescimento relativo em cada tratamento ao longo dos 60 dias de experimento das mudas irrigadas com efluente de reator UASB (linha verde), efluente de lodos ativados (linha azul), água de reservatório eutrofizado (linha laranja) e água potável como controle (linha vermelha)..	40

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro 1</u>	– Estudos sobre irrigação de espécies nativas do semiárido com águas residuárias tratadas	19
<u>Quadro 2</u>	– Diferentes níveis de tratamento de esgoto e a descrição de cada um dos níveis	24

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1</u>	– Principais variáveis físicas, químicas e microbiológicas de esgotos sanitários brutos	23
<u>Tabela 2</u>	– Variáveis analisadas para a caracterização das águas de irrigação no experimento, bem como o método empregado	32
<u>Tabela 3</u>	– Análise dos parâmetros de irrigação no reuso das mudas de jucá	35
<u>Tabela 4</u>	– Análise de Variância por meio do Teste de Tukey	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 <i>Libidibia Ferrea (jucá)</i>	15
3.2 Reuso de águas na silvicultura em plantas nativas do semiárido brasileiro	16
3.3 Eutrofização de corpos d'água lânticos	20
3.4 Esgoto sanitário	23
3.5 Reator UASB (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)	24
3.6 Lodos Ativados	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Localização, coleta, adaptação e plantio das mudas	28
4.2 Águas de irrigação	30
4.3. Caracterização das águas de irrigação	32
4.4 Arranjo experimental	33
4.5 Variáveis analisadas	33
4.6 Análise estatística	34
5. RESULTADOS	35
5.1 Caracterização das águas de irrigação	35
5.2 Variáveis agronômicas	36
5.3 Análise estatística	37
6. DISCUSSÃO	38
7. CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O reúso da água pode ser definido como a utilização planejada de efluentes previamente tratados para determinados fins, que não exigem água potável, como irrigação, usos industriais, recarga de aquíferos ou mesmo fins urbanos não potáveis, como lavagem de ruas ou descargas sanitárias. Trata-se de uma prática que visa reduzir a demanda por fontes hídricas naturais, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos, especialmente em regiões onde há escassez de água. De acordo com Asano et al. (2007), o reúso é uma alternativa sustentável de gestão da água, desde que sejam adotadas medidas adequadas de tratamento e monitoramento de qualidade. No Brasil, essa prática é regulamentada por legislações específicas, como a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que define diretrizes para o reúso não potável direto de água. Segundo Von Sperling (2014), o reúso deve sempre considerar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente, sendo essencial que haja critérios bem definidos para sua aplicação segura. A adoção dessa prática representa uma estratégia eficiente para a promoção do uso racional da água, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Entre as principais categorias de reúso não potável, destacam-se: o reúso urbano, voltado à lavagem de vias, irrigação de jardins e usos em sistemas de refrigeração; o reúso industrial, que inclui o emprego da água em processos produtivos, torres de resfriamento e caldeiras; o reúso em recarga de aquíferos, realizado com ou sem barreira natural de filtração; o reúso ambiental, em que a água tratada é utilizada para manutenção de corpos hídricos e zonas úmidas artificiais; e, por fim, o reúso agrícola e florestal, prática cada vez mais incentivada em regiões com escassez hídrica.

O reúso agrícola e florestal consiste na aplicação de efluente tratado para fins de irrigação de culturas agrícolas ou de reflorestamento. Essa modalidade apresenta vantagens relevantes, como a conservação de recursos hídricos, a reciclagem de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, além da economia no uso de fertilizantes (Santos et al., 2020). No entanto, seu uso requer atenção aos riscos sanitários e ambientais, sendo necessário atender a padrões específicos de qualidade, conforme previsto em normas como a Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que trata da utilização de lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto em áreas agrícolas e florestais. Segundo Von Sperling (2014), o sucesso do reúso agrícola depende de critérios como a adequação do tipo de cultura, método de irrigação, tempo de retenção do efluente e monitoramento da qualidade do solo e da água.

Especialmente no caso da região semiárida brasileira, o reuso de águas é bastante promissor, onde 60% das pastagens apresentam algum grau de degradação, afetando a produtividade e a sustentabilidade (Carlos, 2022). No entanto, a mesma região é caracterizada pela escassez hídrica, que pode ser um fator limitante na irrigação de vegetação nativa destinada à recuperação de áreas degradadas, seja por aplicação direta no solo ou por irrigação de mudas. Assim, o reuso de águas residuárias tratadas provenientes de reatores anaeróbios para a fertirrigação de plantas nativas pode trazer uma contribuição importante para o reflorestamento e, conseqüentemente, para a descarbonização, ou seja, a redução dos níveis de CO₂ na atmosfera (Zanini, 2023).

Diversas espécies nativas do bioma caatinga já foram cultivadas com irrigação feita com águas residuárias tratadas a exemplo da mororó (*Bauhinia cheilantha*), ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*), umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) e a moringa (*Moringa oleifera*). Estudos conduzidos por Santos et al. (2020) evidenciaram que o uso de água residuária proveniente de reatores UASB contribuiu significativamente para o crescimento inicial de espécies como jucá, mororó e ipê-roxo, devido ao aporte de nutrientes como nitrogênio e fósforo, promovendo maior altura, diâmetro e número de folhas nas mudas. Essa prática, desde que observadas as condições sanitárias e agrônômicas adequadas, representa uma estratégia sustentável para a recuperação ambiental e o reflorestamento com espécies nativas em regiões semiáridas.

No Brasil, o Jucá é encontrado do Ceará à Bahia, mas, dentro do território, sua ocorrência se estende, também, a estados como Espírito Santo e Rio de Janeiro (Maia, 2004). O Jucá possui folhas grossas e aveludadas, levemente arredondadas, e tendo em vista que se trata de uma formação vegetal típica de regiões de clima seco, essas são características que ajudam a reduzir a perda de água (Pareyn, 2010). Devido à madeira de boa qualidade, o jucá é comumente utilizado para confecção de móveis e, ainda, na construção civil e na arborização urbana. Por ser uma planta com boa resistência ao estresse, ela pode ser adaptada a condições adversas, sendo utilizada, principalmente, em programas de recuperação de áreas degradadas. (Lorenzi, 2008).

Considerando a importância do reuso de águas na preservação dos recursos hídricos naturais, bem como a importância do cultivo de mudas florestais de espécies nativas na revegetação de áreas degradadas, o presente trabalho visa analisar o desenvolvimento de mudas de Jucá, espécie nativa da Caatinga, irrigadas com diferentes fontes de água.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de esgotos domésticos tratados na fertirrigação de mudas florestais da espécie vegetal *Libidibia férrea* (jucá) e compará-los às fontes convencionais de água.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar física, química e microbiologicamente os efluentes tratados e as fontes convencionais de água de irrigação;
- Determinar o tratamento que proporcione maior altura total da planta (AT);
- Determinar o tratamento que proporcione maior número de folhas (NF);
- Determinar o tratamento que proporcione maior diâmetro da base (DB);

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 *Libidibia férrea* (jucá)

A *Libidibia ferrea*, também conhecida como Jucá, ou Pau Ferro, é uma espécie nativa da Caatinga, fixadora de nitrogênio, muito utilizada na recuperação de áreas degradadas (Resende; Chaer, 2010). Esta planta é indicada, por exemplo, para recuperação de matas ciliares de rios e riachos (Araújo, 2006). Segundo Pereira (2008), o Jucá, por ser uma espécie leguminosa, possui facilidade em associar-se a gramíneas, além de beneficiar o crescimento da vegetação por meio da fixação do nitrogênio.

Figura 1 - Árvore do Jucá, localizada no departamento de Biologia da UFC, campus Pici.



Fonte: acervo da autora (2025).

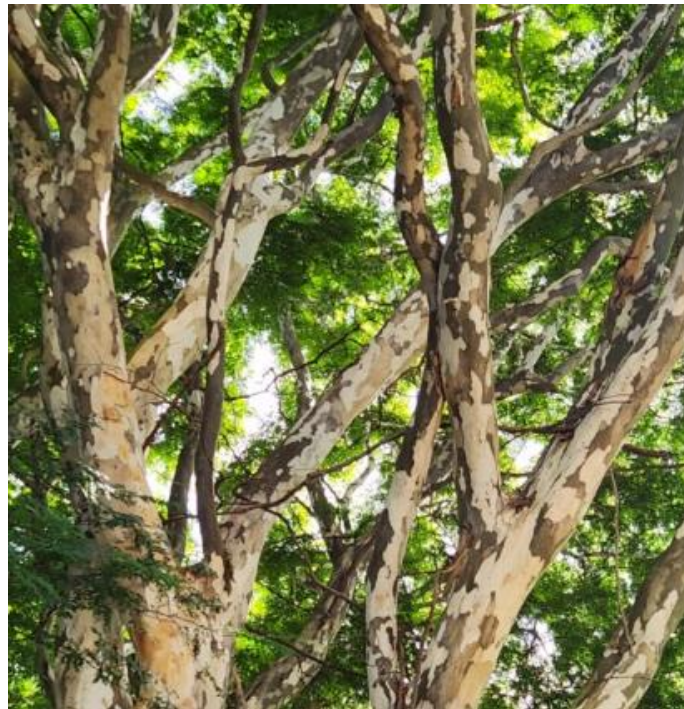
Espécies pioneiras, tais como o Jucá, quando comparadas a espécies secundárias, são mais eficientes no que diz respeito à absorção e utilização dos nutrientes provenientes da adubação (Resende *et al.*, 1999). De acordo com Rizzini (1997), o Jucá é facilmente encontrado nas florestas montana e de tabuleiro. A *Libidibia ferrea* é considerada uma

espécie moderadamente esclerofila, ou seja, apresenta folhas relativamente grossas e rígidas (**Figura 1**). Tal particularidade é uma adaptação aos longos períodos de calor e seca.

Silva (2011), no entanto, alega que somente as espécies de Jucá encontradas na Amazônia atingem alturas de 30 m. Segundo ele, as variedades encontradas no Nordeste e na Mata Atlântica apresentam médio porte, chegando a atingir, no máximo, 15 m de altura. Kraus et al. (2005) apontam as peculiaridades do caule do Jucá: casca fina, lisa e de fácil descamação (**Figura 2**).

Ainda segundo Kraus et al. (2005), o Jucá é bastante utilizado na arborização de ruas, na construção civil e na fabricação de móveis. Além disso, suas folhas podem ser usadas como alimento para o gado. Silva (2011), por sua vez, ressalta o uso medicinal da espécie.

Figura 2 - Caule do Jucá.



Fonte: acervo da autora (2025).

3.2 Reuso de águas na Silvicultura em plantas nativas do Semiárido brasileiro

O reuso de águas na silvicultura consiste na “aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas” (CNRH, 2006, p. 91), sendo a irrigação de mudas florestais com esgoto doméstico tratado um dos muitos exemplos de tal forma de reuso. O reuso de águas na silvicultura é uma técnica que visa, sobretudo, a reciclagem de água e nutrientes, além de contribuir para o aumento da produtividade agrícola, para a

conservação do meio ambiente e para a recuperação de áreas degradadas (Bastos et al., 2003).

No processo de plantio, as culturas carecem de nutrientes que são indispensáveis ao seu desenvolvimento. Em alguns casos, no entanto, o solo não possui todos os nutrientes que as plantas precisam, fazendo-se necessário o uso de fertilizantes (Sadava *et al.*, 2009). A chamada fertirrigação ocorre quando tais fertilizantes são aplicados através da própria água de irrigação. Desse modo, pode-se dizer que a irrigação de culturas com efluente de esgoto tratado é considerada uma forma de fertirrigação, uma vez que, a depender do tipo de tratamento recebido, o efluente final pode conter nutrientes importantes para o processo de crescimento vegetal (Marques *et al.*, 2003).

Ainda segundo Marques *et al.* (2003), tal prática apresenta inúmeras vantagens quando comparada ao uso tradicional de fertilizantes. Por não fazer uso de maquinário pesado, a compactação do solo é evitada. Além disso, o nutriente dissolvido potencializa a absorção do mesmo pelas plantas, permitindo uma melhor distribuição e evitando perdas para o solo.

Na prática de fertirrigação, tanto a natureza da cultura como as características do solo e da água de irrigação devem ser levadas em conta na hora de escolher qual a fonte de nutrientes mais apropriada (Marques *et al.*, 2003). Segundo Mota *et al.* (2006), a escolha da espécie vegetal é um dos fatores mais importantes, pois determinadas culturas apresentam bom desempenho mesmo sob condições desfavoráveis, tais como o excesso de salinidade e sodicidade do solo. Para Segarra *et al.* (1996), a espécie escolhida deve: (i) ser capaz de absorver todo o nitrogênio presente no efluente fornecido; (ii) apresentar alta demanda hídrica (a fim de maximizar o uso do efluente disponível); e (iii) possuir potencial de mercado.

As plantas típicas do semiárido exibem características morfofisiológicas específicas, com destaque para a xeromorfia. Entre essas adaptações, observam-se folhas reduzidas ou transformadas em espinhos, cutículas espessas e presença de tecidos especializados para armazenamento de água. Além disso, muitas espécies possuem capacidade de realizar o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que reduz a perda de água por transpiração ao concentrar a abertura estomática no período noturno (Albuquerque, 2002).

Outra característica relevante da flora do semiárido é a deciduidade. A perda das folhas durante os meses mais secos constitui uma estratégia eficiente para minimizar a evapotranspiração e conservar recursos energéticos. Paralelamente, há espécies com

sistemas radiculares altamente desenvolvidos e profundos, capazes de explorar camadas inferiores do solo em busca de umidade residual (Andrade, 2007).

A composição florística da Caatinga inclui ainda espécies que produzem sementes com elevada capacidade de dormência e germinação rápida, aproveitando os curtos períodos chuvosos. Essa estratégia fenológica permite que muitas plantas completem seu ciclo de vida em poucas semanas, assegurando a perpetuação das populações em ambientes imprevisíveis (Silva, 2018).

O **Quadro 1** compara diferentes trabalhos acerca da irrigação de mudas nativas do semiárido nordestino, utilizando diferentes fontes e diferentes concentrações de esgoto. Os estudos demonstram que o Jucá (*Libidibia ferrea*) e a Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) apresentaram crescimento significativamente superior quando irrigados com esgoto doméstico tratado, evidenciando elevada capacidade de aproveitamento dos nutrientes do efluente. Em contrapartida, a timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*) não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, indicando menor sensibilidade à variação de concentrações. Já o mulungu (*Erythrina mulungu*) e a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) demonstraram melhor desenvolvimento sob baixas concentrações de efluente ou com água potável, sugerindo sensibilidade a cargas orgânicas mais elevadas. Espécies como a jurema branca (*Piptadenia stipulacea*) responderam positivamente às maiores concentrações, enquanto o ypê-amarelo (*Tabebuia áurea*) não apresentou desempenho satisfatório. Assim, a análise comparativa mostra que a eficiência do uso de águas residuárias depende de fatores fisiológicos de cada espécie e das características físico-químicas da fonte de irrigação, reforçando a importância de recomendações específicas para produção de mudas e revegetação no semiárido (Araújo et al, 2007).

Quadro 1 - Estudos sobre irrigação de espécies nativas do semiárido com águas residuárias tratadas.

Espécie	Fonte de Irrigação	Processo de Tratamento do Efluente	Tempo de experimento (dias)	Principais Variáveis	Resultados	Referência
Jucá (<i>Libidibia Ferrea</i>)	Esgoto doméstico tratado; água potável	Lagoa anaeróbia; facultativa; maturação	105	AT e DB	H ≈ 70% superior com esgoto tratado; Diâmetros semelhantes	Araújo et al. (2007)
Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>)	Diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado e água potável (0%; 25%; 50%; 75% e 100%)	Lagoa facultativa; maturação	30	AT e NF	Crescimento ≈ 70% superior utilizando 100% de esgoto tratado, comparado à 100% de água potável	Rebouças et al. (2018)
Timbaúba (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	Diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado e água potável (0%; 25%; 50%; 75% e 100%)	NDS	60	AT, DB, RL	Sem diferença estatística entre os tratamentos	Costa et al. (2021)
Mulungu (<i>Erythrina mulungu</i>)	Diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado e água potável (0%; 25%; 50%; 75% e 100%)	Sistema fossa-filtro anaeróbio	-	AT, NF, BD, RL, DBio	Melhores resultados com 25% e com 0% de esgoto tratado	Pereira et al. (2013)
Angico (<i>Albizia polycephala</i>)	Efluente de piscicultura com tanques alimentados com rejeito de dessalinizador vs rejeito de dessalinizador bruto; água potável	Natural (tanques de piscicultura)	-	AT, DBio	Maior crescimento e desenvolvimento com Rejeito de dessalinizador após utilização em tanques de piscicultura	Pereira et al. (2013)

Ypê amarelo <i>(Tabebuia áurea)</i>	Diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado e água potável (0%; 25%; 50%; 75% e 100%)	Sistema fossa-filtro anaeróbio	-	AT, NF, DB, RL, DBio	IVG não apresentou resposta satisfatória	Lima et al. (2013)
Jurema Branca <i>(Piptadenia stipulacea)</i>	Diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado e água potável (0%; 25%; 50%; 75% e 100%)	Sistema fossa-filtro anaeróbio	-	AT, NF, DB, RL, DBio	Melhores resultados com 100% e 75% de esgoto tratado	Lima et al. (2013)
Catingueira <i>(Caesalpinia pyramidalis)</i>	Diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado e água potável (0%; 25%; 50%; 75% e 100%)	Sistema fossa-filtro anaeróbio	-	AT, NF, DB, RL, DBio	Melhores resultados com 25% e com 0% de esgoto tratado	Lima et al. (2013)

Fonte: Elaborado pela autora. AT: Altura Total; BD: Biomassa Seca da Parte Aérea; DBio: Biomassa Seca Total; DB: Diâmetro da Base; NF: Número de Folhas; RL: Comprimento da raiz.

3.3 Eutrofização de corpos d'água lênticos

A palavra eutrofização provém do grego e significa bem nutrido, não equivalente a poluição. Constitui o processo de aporte natural ou artificial de nutrientes aos corpos d'água e os efeitos resultantes dessa adição. O crescimento demasiado de organismos aquáticos autotróficos (fitoplâncton e macrófitas) devido à grande oferta de nutrientes é uma das principais características do fenômeno de eutrofização (Porto *et al.*, 1991).

Nutrientes, como nitrogênio e fósforo, são elementos essenciais aos ecossistemas aquáticos; contudo, o seu aporte excessivo pode promover a eutrofização de corpos d'água receptores. Eutrofização se distingue pelo crescimento desordenado de microrganismos e pode tornar as águas inadequadas para usos mais nobres, assim como promover mudança na composição biótica de ecossistemas aquáticos, em razão da morte de animais superiores, provocada pela redução de oxigênio dissolvido nas águas.

Nitrogênio e fósforo podem entrar nos corpos hídricos dissolvidos em águas de escoamento superficial, aderidos aos sedimentos ou dissolvidos em águas de percolação (Caido, 2005; Trindade, 2011).

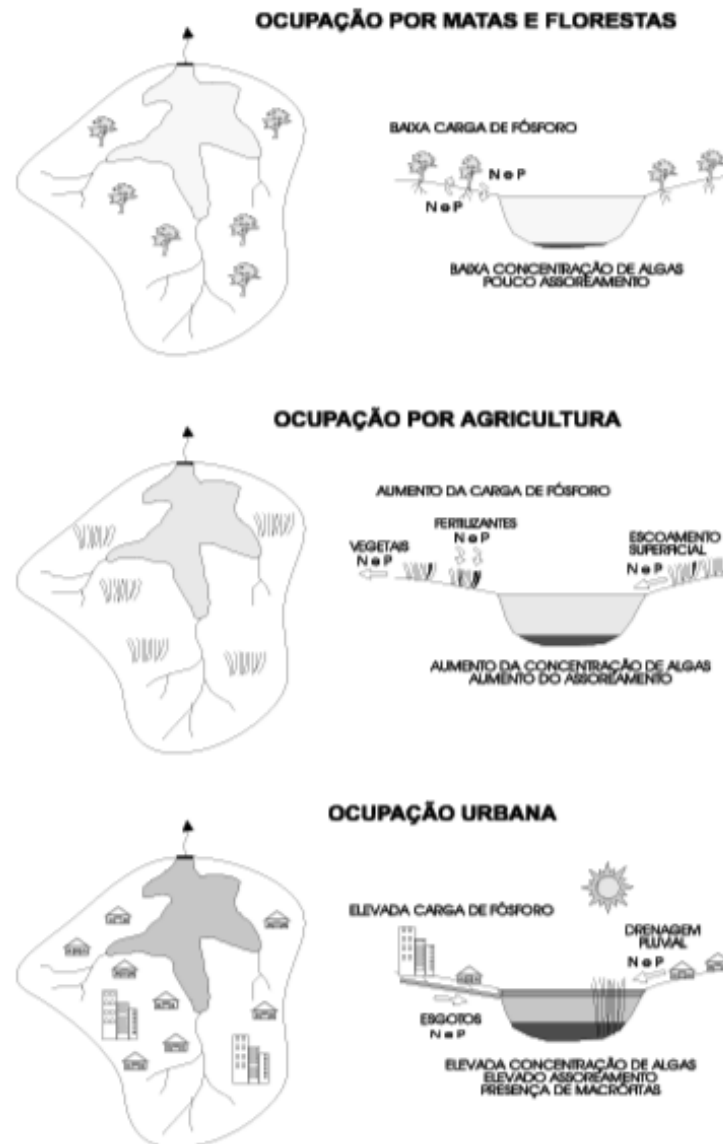
O processo de eutrofização advém de causas naturais ou dos efeitos de atividades antrópicas. Quando de causas naturais, se caracterizam pela ação bastante lenta e podem ser, por exemplo, devido à diminuição da bacia hidráulica por consequência do assoreamento, ao decréscimo das vazões afluentes, ao aporte de nutrientes levados pela chuva, entre outros, é o que corresponde ao “envelhecimento” natural do lago. Quando advinda dos efeitos de atividades antrópicas, a evolução do processo de degradação é mais intensa e acelerada. Essas atividades podem ser, por exemplo, a supressão vegetal, a urbanização e lançamentos de efluentes domésticos, a industrialização e intensificação da agricultura (Thomann; Mueller, 1987; Esteves, 1998).

Além dos esgotos, são fontes de fósforo e nitrogênio: águas de drenagem provenientes de solos com excesso de fertilizante, águas da chuva em virtude da poluição atmosférica, piscicultura intensiva e sedimentos do lago em sua camada lodosa mais profunda (Jorgensen, 2002).

Os nutrientes em excesso produzem mudanças em lagos e reservatórios que são consideradas prejudiciais para a função ou o uso do corpo de água. Os principais efeitos da eutrofização são anaerobiose no corpo d’água, mortandade da fauna, toxicidade de algas, dificuldade e altos custos para o tratamento da água e redução da navegação e da capacidade de transporte (Von Sperling, 2005).

O processo de eutrofização ocorre em lagos e represas, mas pode ocorrer também em rios, embora seja menos frequente, graças às condições ambientais serem mais desfavoráveis para o crescimento de algas e outras plantas, como turbidez e velocidades elevadas. Von Sperling (2005) relata que o nível de eutrofização está usualmente associado ao uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica. A **Figura 3** ilustra a possível sequência da evolução do processo de eutrofização em um corpo d’água, como um lago ou represa.

Figura 3 - Evolução do processo de eutrofização em um lago ou represa.



Fonte: Von Sperling (1996).

Nesse viés, é notória a aceleração da eutrofização em ambientes com ocupação urbana. Segundo Porto et al. (1991), a urbanização sem estrutura e planejamento, além do uso intensivo de insumos agrícolas, contribui para o aporte de nutrientes e agrotóxicos aos corpos d'água, deste modo, acelerando o processo natural de eutrofização, afetando a qualidade da água.

3.4 Esgoto sanitário

Esgoto sanitário é definido como o despejo líquido composto por esgoto doméstico, contribuição pluvial parasitária, esgoto industrial e água de infiltração (ABNT, 9648). O esgoto doméstico é o despejo líquido resultado da utilização da água para necessidades fisiológicas e higiene. No esgoto estão contidos: nutrientes, matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, microrganismos patogênicos, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, etc.

A **Tabela 1** apresenta as concentrações típicas das principais variáveis físicas, químicas e microbiológicas de esgotos sanitários brutos. Tais concentrações podem variar de acordo com: o consumo de água, a parcela de despejos, a sua origem (doméstico ou industrial), as contribuições pluviométricas, etc. (Von Sperling, 2014).

Tabela 1 – Principais variáveis físicas, químicas e microbiológicas de esgotos sanitários brutos.

Variável	Concentração Típica	Parâmetros	Concentração Típica
pH	7,0	P - Orgânico (mgP/L)	2,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	200	P - Inorgânico (mgP/L)	5,0
DBO ₅ (mg/L)	300	SST (mg/L)	350
DQO (mg/L)	600	SDT (mg/L)	700
N - Orgânico (mgN/L)	20	Metais Pesados (mg/L)	Traços
N - Nitrato (mgNO ₃ -N/L)	≈ 0	CTT (org./100mL)	10 ⁶ – 10 ⁹
N - Nitrito (mgNO ₂ -N/L)	≈ 0	Helmintos (ovos/100mL)	10 ⁰ - 10 ³

Notas: SST: Sólidos Suspensos Total; SDT: Sólidos Dissolvidos Total; CTT: Coliformes Termotolerantes.

Fonte: Von Sperling (2014).

A concentração das impurezas contidas no esgoto sanitário bruto confere a ele um potencial poluidor que, se for lançado em um corpo receptor sem tratamento adequado, pode apresentar riscos à saúde pública e comprometer os usos do corpo d'água receptor. Portanto, faz-se necessária a remoção dessas impurezas por meio de técnicas de tratamento de efluentes (Nuvolari; Costa, 2010). O **Quadro 2** mostra cada um dos níveis de tratamento de esgoto, descrevendo como ocorrem seus respectivos processos.

Quadro 2 - Diferentes níveis de tratamento de esgoto e a descrição de cada um dos níveis.

Diferentes níveis de tratamento	Descrição/Características dos respectivos níveis de tratamento
Tratamento Preliminar	Objetiva-se a remoção de sólidos grosseiros.
Tratamento Primário	Prevalecem os métodos físicos de remoção de sólidos suspensos sedimentáveis (SS) e, conseqüentemente, de parte da matéria orgânica associada a eles. Apresenta uma eficiência de remoção de 60 a 70% para SS, de 25 a 35% para DBO, e de 30 a 40% para coliformes.
Tratamento Secundário	Consiste na aplicação de mecanismos biológicos para remover, de forma mais completa, a matéria orgânica; além disso, nessa etapa também são removidos os sólidos não sedimentáveis. Possui uma eficiência de remoção de 60 a 98% para DBO e de 60 a 99% para coliformes. Tais valores independem da presença de tratamento primário no sistema.
Tratamento Terciário	Objetiva-se a remoção de nutrientes, patógenos, compostos não biodegradáveis, metais pesados e/ou qualquer outro contaminante que não tenha sido suficientemente removido nos demais níveis de tratamento.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014).

3.5 Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)

O Reator UASB é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. De operação simples e econômica, este tipo de processo tem sido estudado e aprimorado em países em desenvolvimento. Inicialmente, a utilização do UASB era para esgotos com alta concentração de matéria orgânica (DBO ou DQO), como nos casos de despejos industriais específicos. Com o passar dos anos, o uso do UASB foi ganhando espaço no tratamento de esgotos domésticos (baixa concentração de matéria orgânica) e, hoje em dia, é uma das principais tecnologias utilizadas no Brasil.

Os reatores UASB foram desenvolvidos, originalmente, por Gatze Lettinga e sua equipe de pesquisadores na Holanda, com o objetivo de tratar efluentes industriais. Porém, devido à sua grande eficiência, a tecnologia foi adaptada para o tratamento de águas residuais (Paula, 2007). Os reatores UASB podem ser projetados de forma circular ou prismática-retangular: o reator circular é utilizado para tratamento de pequenos volumes, enquanto que

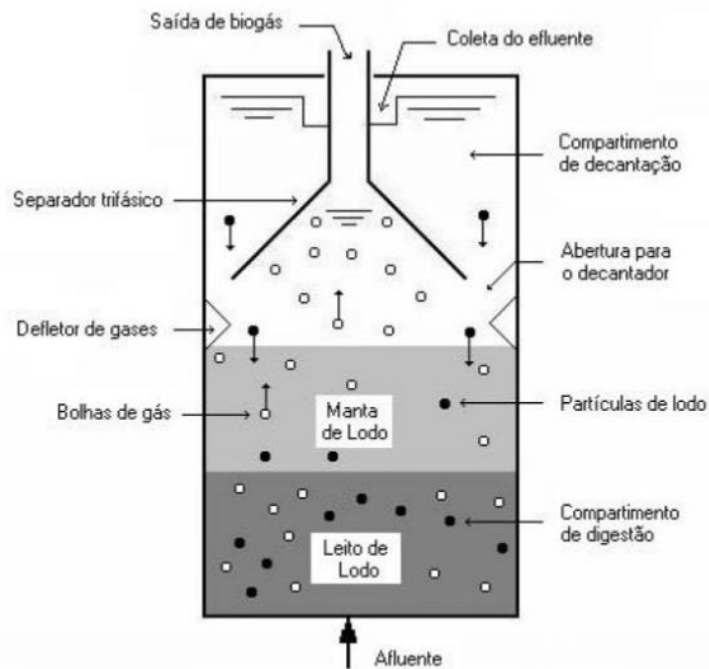
o prismático-retangular é mais empregado para tratamento de grandes volumes (Coelho, 2001).

Os reatores UASB operam com alta concentração de biomassa dispersa no meio do líquido, formando pequenos grânulos que podem servir de suporte para bactérias. Quando o líquido entra no fundo do reator de forma ascendente, parte da matéria orgânica é adsorvida pela biomassa presente na região do leito de lodo. Ao oxidar a matéria orgânica, as bactérias liberam gases em forma de bolhas, também em fluxo ascendente. O separador trifásico possibilita acumular o gás em um compartimento próprio, podendo ser reaproveitado para uso como fonte de energia ou ser queimado. Os sólidos que escapam da zona de digestão podem ser retidos nas paredes do separador de fases e, ao deslizarem, retornam à manta de lodo, possibilitando assim, a retenção de biomassa no sistema. O efluente, livre de sólidos, sai do reator e vai para a etapa final de pós-tratamento, se houver (Von Sperling, 2014).

O sistema de tratamento por meio do uso de reatores UASB apresenta vantagens quando comparado com sistemas aeróbios convencionais (Chernicharo et al. 1999), como baixo custo, baixa demanda de área, configuração de operação, permitindo o desenvolvimento de grande quantidade de biomassa ativa e adequada agitação e mistura hidráulica, promovidas pelo fluxo ascendente e gases gerados. Entretanto, possuem como desvantagens a baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas, além da necessidade de uma etapa de pós-tratamento, pois são ineficientes na remoção de nutrientes e de organismos patogênicos.

O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é um sistema de tratamento biológico anaeróbico no qual o esgoto é introduzido pela parte inferior do reator e flui em regime ascendente através de uma manta de lodo composta por microrganismos anaeróbios. Nessa zona, ocorre a degradação da matéria orgânica, resultando na produção de biogás, principalmente metano e dióxido de carbono. Na região superior do reator, um dispositivo separador trifásico promove a adequada separação das fases sólido, líquido e gás, permitindo a coleta do biogás, a retenção do lodo no interior do reator e a saída do efluente tratado. Esse arranjo garante elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e possibilita a aplicação do sistema em diferentes tipos de efluentes, sendo frequentemente necessário o emprego de pós-tratamento para o atendimento a padrões mais rigorosos de qualidade, assim como o esquema exposto na **Figura 4** (Chernicharo et al, 1999).

Figura 4 - Representação esquemática de um reator UASB.



Fonte: Chernicharo *et al.* (1999).

3.6 Lodos Ativados

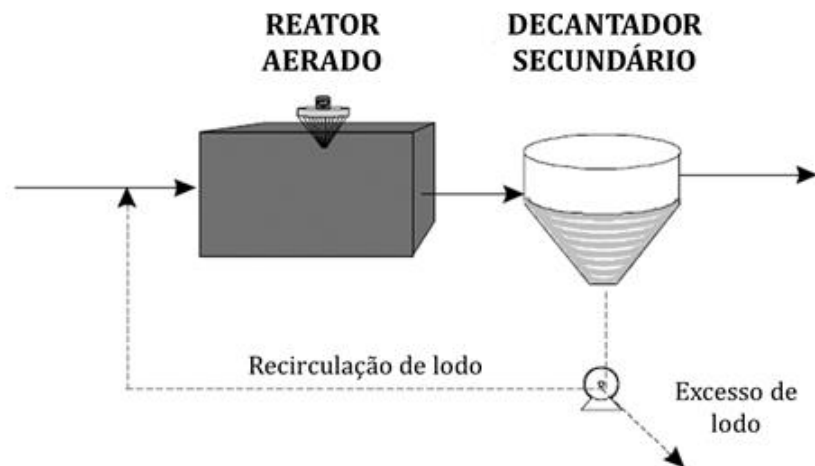
O sistema de Lodos Ativados é utilizado para o tratamento de efluentes sanitários e industriais, principalmente quando o efluente possui alta carga poluidora e se deseja que haja uma elevada qualidade no efluente tratado (Von Sperling, 1997). O princípio básico do processo de lodo ativado é a depuração da matéria orgânica por microrganismos aeróbicos. Existem muitas variantes no processo de lodos ativados e os sistemas podem ser classificados de acordo com a idade do lodo (lodo ativado convencional ou aeração prolongada); de acordo com o fluxo (fluxo contínuo ou intermitente) ou ainda, de acordo com os objetivos do tratamento (remoção de matéria orgânica dissolvida e nutrientes, como nitrogênio e fósforo) (Von Sperling, 1997).

Segundo Imhoff (1985, p. 89), “de certa maneira, o processo de tratamento por lodos ativados pode ser assimilado a uma autodepuração artificialmente acelerada”. De acordo com Von Sperling (2002), “o sistema de lodo ativado inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maior consumo de energia elétrica”. A etapa biológica do sistema de lodos ativados é dividida nas seguintes partes: tanque de aeração (reator), tanque de decantação (decantador secundário) e recirculação de lodo (Von Sperling, 2002). O volume do tanque de aeração do

sistema de lodo ativado é bem reduzido, em virtude da recirculação do lodo, fazendo com que o tempo de detenção do líquido seja relativamente baixo. No entanto, a parte sólida permanece no sistema por tempo superior ao da parte líquida, sendo este tempo de retenção chamado de “idade do lodo”.

Quanto à idade do lodo, o sistema pode operar como: lodo ativado convencional ou por aeração prolongada. Quanto ao fluxo que alimenta o reator, o lodo ativado pode ser considerado de fluxo contínuo ou de fluxo intermitente (batelada). Por último, quanto às características do afluente ao reator biológico, o mesmo pode ser: esgoto bruto ou sem tratamento; efluente do tratamento primário; efluente do reator anaeróbico ou efluente de outro processo de tratamento (Von Sperling, 2002). A **Figura 5** mostra o funcionamento do sistema de Lodos Ativados.

Figura 5 - Representação esquemática do sistema de Lodos Ativados.



Fonte: Von Sperling, 2002.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização, coleta, adaptação e plantio das mudas

O experimento foi conduzido na Casa de Vegetação do setor de Agricultura da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici (**Figura 6**), localizado em Fortaleza-CE.

Figura 6 - Casa de Vegetação do setor de Agricultura, UFC Campus do Pici.



Fonte: Acervo da autora (2025).

As mudas de jucá foram coletadas em estágio inicial de crescimento, com uma média de 20cm cada muda. Uma parte foi coletada no viveiro do Parque Adahil Barreto, por meio de contato com a Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA), e outra, na horta do setor de Agricultura da UFC, Campus do Pici, totalizando um total de 48 mudas coletadas para plantio e experimento. A escolha para a quantidade de mudas foi realizada visando questões de logística, como o espaço que havia disponível para a condução do experimento na Casa de Vegetação (**Figura 7**).

Antes de submeter as respectivas mudas ao experimento com as águas de efluente tratado e água eutrófica, foi realizado um processo de adaptação dos indivíduos já

na casa de vegetação, para que não houvesse um maior estresse, caso as mudas já fossem inseridas nos tratamentos com as águas nutridas.

Figura 7 - Mudas de Jucá após o plantio para processo de adaptação.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Tal processo adaptativo durou um total de duas semanas e foi realizado da seguinte forma: cada muda foi plantada em jarros de 4 L, com aplicação de substrato orgânico doado pela horta do setor de Agricultura, composto por solo do tipo Solonetz Solodizado e esterco bovino curtido. Foi aplicado no substrato, antes do plantio das mudas, 200 mL de hidrogel por vaso, de forma a não homogeneizar o substrato com o hidrogel (**Figura 8**). O hidrogel é um material polimérico que possui a capacidade de absorver e reter grandes quantidades de água, formando uma estrutura semelhante a um gel. É composto por uma rede tridimensional de polímeros e água, o que lhe confere suas propriedades de absorção e hidratação. A sua adição no solo otimiza a disponibilidade de água, reduz as perdas por percolação e lixiviação de nutrientes e, ainda, melhora a aeração e drenagem do solo, acelerando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas (Vlach, 1991).

Figura 8 - Becker de vidro contendo hidrogel para utilização no substrato.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Assim, após a realização do plantio utilizando composto orgânico e hidrogel, a irrigação dos indivíduos passou a ser realizada, ao longo das duas semanas, por meio de um sistema de irrigação automática da Casa de Vegetação, que se utiliza de microaspersores. Assim, os mesmos são acionados, provocando gotejamento vertical sob as mudas. Os microaspersores são acionados em um respectivo horário do dia já definido, no período da tarde, o que pode ser modificado, assim como sua frequência. O sistema de microaspersão é a opção mais indicada para hortaliças, pequenas hortas, estufas e jardins. Ele possui estruturas que se adaptam ao tipo de plantio e proporciona fácil desmonte, o que é útil durante mudanças sazonais. O período de irrigação das mudas foi de 09 de Abril a 11 de Junho, totalizando dois meses de experimento.

4.2. Águas de irrigação

Para a irrigação das mudas, foram utilizadas quatro diferentes fontes de água, a saber: esgoto doméstico tratado por reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), esgoto doméstico tratado por Lodos Ativados, água natural do açude Santo Anastácio e água potável (Controle).

Efluente doméstico tratado por um reator UASB (UASB_{eff})

O esgoto doméstico tratado pelo reator UASB foi proveniente de um complexo turístico, localizado no município de Aquiraz-CE. Após a saída do reator UASB, foi aplicado cloreto de cálcio (CaCl_2) em uma concentração de 2mg/L como desinfetante.

Para o experimento, foram coletados 50 L em bombonas plásticas, para garantir a mesma qualidade do efluente tratado durante todo o experimento, evitando que eventuais alterações na qualidade dele influenciassem o cultivo do jucá. Cada um dos galões contendo o UASB_{eff} foi armazenado em Câmara Fria a 4 graus Celsius para garantir as propriedades do efluente.

Lodos Ativados (LA_{eff})

O efluente tratado por meio de Lodos Ativados foi coletado na ETE da UFC do campus do Pici, localizado próximo à Casa de Vegetação. A ETE é composta, respectivamente, por: Gradeamento, tanque de aeração, lodos ativados e, por fim, tanque de contato para a devida desinfecção do efluente com Hipoclorito de Cálcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. O ponto de coleta foi ao fim do tratamento, e ocorreu com frequência quinzenal, onde o efluente era armazenado em uma bombona de material plástico com volume de 20L, no almoxarifado da Casa de Vegetação.

Água natural (ASA)

O Açude Santo Anastácio está localizado no próprio campus da UFC, Pici. O canal recebe as águas vertidas da Lagoa da Parangaba, além de contribuições de drenagem das águas pluviais, esgotos brutos e resíduos sólidos ao longo do seu percurso de aproximadamente 2,5 km. O ponto de coleta foi logo abaixo da ponte próxima à rotatória. Todas as coletas foram realizadas com apoio e suporte da equipe de funcionários terceirizados da Casa de Vegetação, com a correta utilização de EPIs (equipamentos de proteção individual, como botas e luvas de borracha). A mesma foi realizada quinzenalmente, com o efluente sendo armazenado em uma bombona de material plástico com volume de 20 L, no almoxarifado da Casa de Vegetação.

Água potável (Ctrl)

A água potável utilizada foi proveniente do sistema da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) que abastece o campus da UFC - Pici. A coleta da água foi feita

diretamente na saída da torneira da Casa de Vegetação da Agricultura, antecedendo cada irrigação.

4.3 Caracterização das águas de irrigação

Os parâmetros analisados nas águas de irrigação foram: pH, Condutividade elétrica, Turbidez, Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total e *Escherichia coli*.

Com exceção de *E. coli*, que foi analisado no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP), do LABOMAR (Instituto de Ciências do Mar) todas as outras variáveis foram analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN), do departamento de Engenharia Ambiental e Hidráulica da UFC. As determinações foram realizadas segundo os métodos descritos no *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Rice *et al.*, 2005), conforme mostra a **Tabela 2**.

Tabela 2 – Variáveis analisadas para a caracterização das águas de irrigação no experimento, bem como o método empregado.

Variável	Tratamento
DBO ₅ (mg/L)	Manométrico/ potenciométrico
DQO (mg/L)	Espectrofotometria
N Total (mg/L)	Kjeldahl (NTK)
P Total (mg/L)	Colorimetria
pH	Potenciometria/ISE
C.E	Condutimetria
SST	Gravimetria por filtração e secagem
Turbidez	Nefelometria
<i>E. Coli</i>	Tubos múltiplos com caldo Lauril-MUG

Fonte: elaborado pela autora (2025).

4.4 Arranjo experimental

O experimento foi composto por quatro tratamentos, com doze repetições cada, distribuídas num Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Nesse delineamento, os tratamentos são distribuídos aleatoriamente entre as unidades experimentais, assumindo-se que todas essas unidades são homogêneas quanto às condições experimentais.

A principal característica do DIC é a aleatorização completa dos tratamentos, o que garante que cada unidade experimental tenha a mesma probabilidade de receber qualquer tratamento. Isso permite isolar o efeito do tratamento das demais fontes de variação, facilitando a análise estatística. O DIC é especialmente indicado quando o ambiente experimental é considerado homogêneo, como em experimentos conduzidos em laboratório, casa de vegetação ou pequenas parcelas de campo com pouca variabilidade (Barbin, 2003).

De acordo com Duarte (1996), o arranjo experimental do tipo inteiramente casualizado, cuja única fonte de variação nos dados é os tratamentos, é o mais indicado para experimentos conduzidos especificamente em viveiros ou casas de vegetação. A distribuição dos tratamentos às parcelas é definida de forma aleatória, por meio de sorteio. Um tratamento conteve doze mudas irrigadas com Efluente de UASB, outro tratamento com doze mudas irrigadas por Efluente de Lodos Ativados, outro, irrigado com água eutrofizada do ASA e, por fim, um tratamento dedicado, apenas, para o Controle.

4.5 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas durante o experimento foram: a altura total da planta (AT), o número de folhas (NF) e o diâmetro do coleto (DC), que corresponde à região de transição entre a raiz e o caule (Sadava, 2009). Tais parâmetros são comumente utilizados para avaliar o desenvolvimento de mudas em viveiros, uma vez que são um forte indicativo da qualidade das plantas (Gomes *et al.*, 1978).

As coletas dos dados foram realizadas quinzenalmente, a contar da data do plantio das sementes. Para as medições da altura e do coleto das plantas foram utilizados uma régua graduada em centímetros e um paquímetro digital (150 mm, ZAAS), respectivamente. O número de folhas foi contabilizado manualmente.

4.6 Análise Estatística

Os dados de coleta do plantio foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias obtidas para cada tratamento foram comparadas pelo teste de Tukey (a 5% de probabilidade), utilizando-se o programa IBM SPSS Statistics 22, selecionando os valores das réplicas e interpretando os dados estatísticos a partir do referido programa.

Segundo Gomes (2009), o teste de Tukey é indicado quando se deseja comparar todas as médias entre si, pois controla a taxa de erro do tipo I em todas as comparações realizadas, sendo adequado para experimentos com número igual ou desigual de repetições. O teste utiliza a estatística "q" da distribuição de Tukey, que leva em conta o número de tratamentos, o número de repetições e o erro médio quadrático obtido na ANOVA. A partir disso, foi calculada a Diferença Mínima Significativa (DMS) entre as médias dos valores analisados. Diferenças maiores são consideradas estatisticamente significativas.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização das águas de irrigação

As características das quatro diferentes fontes de água utilizadas no presente experimento estão mostradas na **Tabela 3**. O UASB_{efl} apresentou a maior concentração de *E. coli*, mesmo após a desinfecção utilizando hipoclorito de cálcio (2 mg/L), antes da irrigação das mudas. O ASA foi classificado como um corpo hídrico eutrofizado, pois sua concentração de fósforo excedeu 0,025 mg/L (Von Sperling, 2007). Entretanto, este valor é, ainda, 10 vezes menor que a concentração do UASB_{efl}.

Tabela 3 - Análise dos parâmetros de irrigação no reuso das mudas de jucá.

Tratamento	Fonte	Tratando	NT (mg/L)	PT (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	C.E (µS/cm)
UASB _{efl}	Efluente UASB	Esgoto Doméstico	33,6	0,40	100	73,8	23,1	6,9	1.044
LA _{efl}	Efluente Lodos Ativados	Esgoto Doméstico	12,3	0,06	10	21,8	12,5	13,9	11.300
ASA	Açude Santo Anastácio	-	2,5	0,04	70	49,9	7,9	5,1	474
Ctrl	Água Potável	-	0,2	0,01	0	1	0	8,0	692

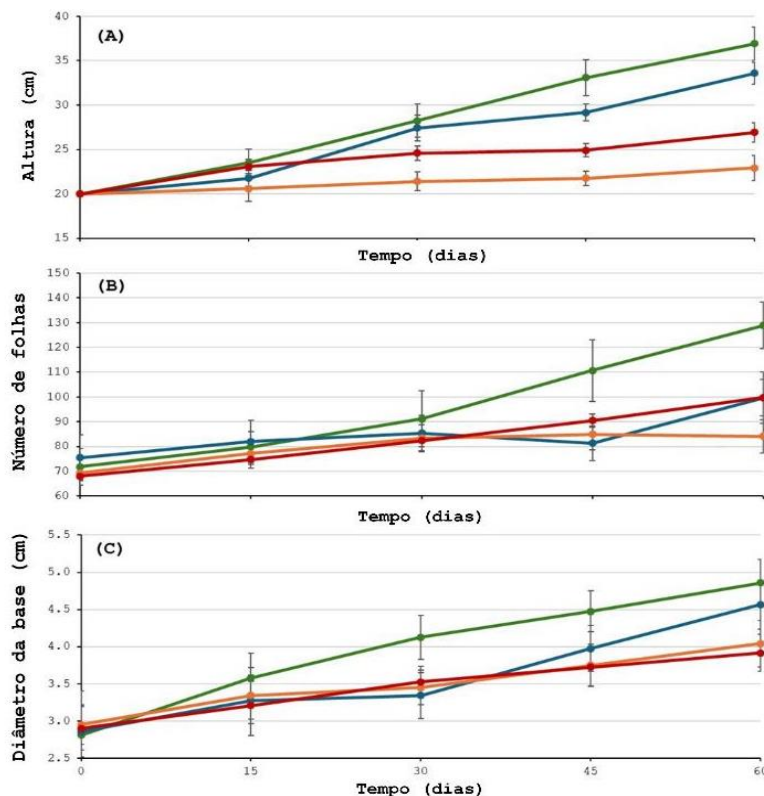
Fonte: elaborado pela autora (2025).

Notas: NT: Concentração de Nitrogênio Total; PT: Concentração de Fósforo Total; DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; C.E.: Condutividade Elétrica.

5.2 Variáveis agronômicas

A **Figura 9** apresenta os valores de altura total, número de folhas e diâmetro basal das mudas de Jucá durante todo o experimento. Os resultados mostram que, no geral, o tratamento que promoveu o maior desenvolvimento em todos esses parâmetros listados foi o UASB_{eff}. Em seguida, destaca-se o tratamento LA_{eff}, o qual proporcionou o segundo maior valor de crescimento em altura total e diâmetro da base. Contudo, em relação ao número de folhas, o LA_{eff} apresentou valor semelhante ao tratamento Ctrl. Por sua vez, a água do ASA resultou em um menor desenvolvimento das mudas nos parâmetros de altura total e número de folhas. Entretanto, para diâmetro da base, o ASA apresentou valor superior ao observado no tratamento Ctrl.

Figura 9 - Altura total (A), número de folhas (B) e diâmetro basal (C) de mudas de Jucá (*Libidibia ferrea*) irrigadas com efluente de reator UASB (linha verde), efluente de lodos ativados (linha azul), água do açude Santo Anastácio (linha laranja) e água potável como controle (linha vermelha). As barras pretas representam o desvio padrão das médias.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

5.3 Análise Estatística

A **Tabela 4** mostra, a partir dos dados coletados durante o experimento, a análise de variância (ANOVA), por meio do Teste de Tukey, que revelou diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas: altura total (AT), número de folhas (NF) e diâmetro da base (DB). A análise indicou que as mudas irrigadas com UASB_{efl} apresentaram maiores valores médios de AT (36,92 cm), e NF (128,83), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ($p < 0,05$). O tratamento de LA_{efl} apresentou um desempenho intermediário para AT (33,58 cm) e NF (99,58), enquanto o ASA resultou nos menores valores médios para ambas as variáveis (AT = 22,92 cm e NF = 84,08 cm). A tratamento Ctrl apresentou valores próximos aos observados no LA_{efl} para NF (99,75), mas inferiores para AT (26,92 cm). Em relação ao diâmetro do caule, não houve diferença significativa entre os tratamentos UASB_{efl} (4,86 mm) e LA_{efl} (4,57 mm), que obtiveram os maiores valores. Entretanto, ambos diferiram estatisticamente dos tratamentos ASA (4,04 mm) e Ctrl (3,92 mm), que apresentaram os menores resultados. De maneira geral, o uso do UASB_{efl} favoreceu o crescimento das mudas, especialmente em altura e número de folhas, evidenciando o seu potencial como fonte alternativa de água para irrigação.

Tabela 4 - Análise de variância por meio do Teste de Tukey.

Tratamento	AT	NF	DB
UASB _{efl}	36.92 a	128.83 a	4.86 a
LA _{efl}	33.58 b	99.58 b	4.57 a
ASA	22.92 d	84.08 c	4.04 b
Ctrl	26.92 c	99.75 b	3.92 b

Fonte: elaborado pela autora (2025).

6. DISCUSSÃO

Ambos os efluentes, UASB_{efl} e LA_{efl}, atendem aos padrões de DBO estabelecidos pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) (≤ 30 mg/L) e aos padrões de *E. coli* definidos pela OMS (Organização Mundial da Saúde) ($\leq 10^5$ organismos/100 mL) para uso em irrigação. No entanto, apenas o UASB_{efl} atende aos padrões de reúso florestal quanto à condutividade elétrica (≤ 3000 μ S/cm) e ao pH, conforme a Resolução COEMA nº 2/2017 (pH = 6,0 – 8,5; ≤ 3000 μ S/cm) e a USEPA (pH = 6,0 – 9,0; ≤ 3000 μ S/cm).

O UASB_{efl} é a fonte com as maiores concentrações de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo Total) e matéria orgânica, os quais mostraram-se eficazes para o desenvolvimento das mudas, atuando como fertilizantes naturais. Isso se deve à menor eficiência de remoção dos reatores UASB para essas impurezas, em comparação ao LA_{efl}, por conta que o processo de tratamento com Lodos Ativados oferece condições biológicas e ambientais controladas, indispensáveis para as rotas de remoção desses nutrientes, (principalmente Fósforo e Nitrogênio), condições que não existem ou são muito limitadas em reatores UASB. (Musa et al., 2019).

A análise de parâmetros dos tratamentos apresentou um elevado valor na Condutividade Elétrica do LA_{efl}, o que pode ser devido a uma alta quantidade de hipoclorito de cálcio Ca(ClO)₂ usado na desinfecção do efluente na estação de tratamento de esgoto (ETE). Isso ocorre por conta que, quando o hipoclorito de cálcio é adicionado ao esgoto para descontaminação, ocorrem reações químicas que introduzem novos íons dissolvidos na água, o que aumenta a condutividade elétrica do efluente, visto que quanto mais íons, maior a capacidade de conduzir eletricidade, ou seja, maior condutividade (Rocha, 2023).

O tratamento ASA apresentou, ainda DQO > DBO, possivelmente ocasionado por uma grande contribuição de compostos inorgânicos oxidáveis, como íons ferroso (Fe²⁺), sulfetos (S²⁻), nitritos (NO₂⁻) e compostos de enxofre, presentes em substâncias químicas tóxicas como pesticidas e herbicidas, agrotóxicos, farmacêuticos ou, até mesmo, subprodutos de desinfecção e produtos orgânicos sintéticos, o que explica a sua característica de ser uma água eutrofizada. Além disso, as mudas irrigadas com a água do ASA, diferente das outras fontes, apresentaram uma espécie de fitotoxicidade em seu processo, ocasionando na queda de suas folhas, além de pequenos furos na superfície das mesmas. (Esteves, 1998).

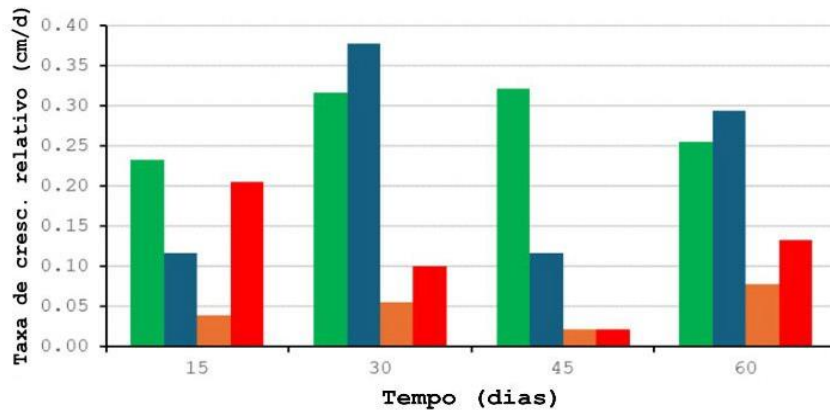
A água de torneira utilizada como tratamento controle (Ctrl) atendeu devidamente aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Por conta disso, apresentou baixa concentração de sais e nutrientes, o que resultou em menor aporte nutricional às mudas de jucá, em comparação aos efluentes utilizados.

Quanto às variáveis agrônômicas, o tratamento com UASB_{eff} foi o que proporcionou os maiores valores de altura total, número de folhas e diâmetro basal das mudas de jucá. Os valores de número de folhas (NF) indicaram que as mudas irrigadas com o UASB_{eff} foram mais eficientes na captação de luz e na realização da fotossíntese, o que contribui diretamente para o seu desenvolvimento (Costa et al., 2021). Quanto maior o número de folhas, maior tende a ser a atividade fotossintética e, conseqüentemente, a produção de energia pela planta (Costa et al., 2021).

Até o 30º dia de experimento, o diâmetro da base (DB) das mudas irrigadas com o LA_{eff} apresentou valores semelhantes aos observados para a água do ASA e para a água Ctrl. A partir do 45º dia, no entanto, o diâmetro da base das mudas irrigadas com LA_{eff} aumentou de forma significativa, tornando-se estatisticamente equivalente ao das mudas irrigadas com UASB_{eff}. O caule constitui o principal órgão de sustentação da planta e estabelece a conexão funcional entre o sistema radicular e os órgãos aéreos, como folhas e estruturas reprodutivas, permitindo a circulação de água, sais minerais e compostos orgânicos (Apezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2006).

Em relação a altura, conforme apresentado na **Figura 10**, a partir do 45º dia de experimento, os maiores valores da Taxa de Crescimento Relativo (TCR), foram observados nas mudas irrigadas com águas residuárias, evidenciando que os nutrientes presentes nesses efluentes estimularam um crescimento mais acelerado. Apesar disso, a TCR apresentou variações ao longo do tempo e entre os tratamentos, comportamento semelhante ao relatado por Araújo et al. (2007) para mudas de *Libidibia ferrea* irrigadas com esgoto doméstico tratado por lagoas de estabilização. Embora os valores máximos de TCR observados neste estudo (0,32 a 0,38 cm dia⁻¹) tenham sido inferiores aos reportados por Araújo et al. (2007) (0,50 a 0,57 cm dia⁻¹), estes últimos foram alcançados apenas após o 75º dia de experimento, sugerindo que um período experimental mais longo poderia resultar em valores mais elevados. Ainda assim, ao considerar a TCR acumulada nos primeiros 60 dias, as mudas avaliadas neste estudo apresentaram taxas superiores (0,28 a 0,37 cm dia⁻¹) às observadas por Araújo et al. (2007) (0,23 cm dia⁻¹), indicando um crescimento inicial mais acentuado.

Figura 10 - Taxa de crescimento relativo em cada tratamento ao longo dos 60 dias de experimento das mudas irrigadas com efluente de reator UASB (linha verde), efluente de lodos ativados (linha azul), água de reservatório eutrofizado (linha laranja) e água potável como controle (linha vermelha).



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Araújo et al. (2007) compararam o desenvolvimento de mudas de *L. ferrea* irrigadas com esgoto doméstico tratado por tecnologia de lagoas de estabilização (anaeróbia + facultativa + de maturação) e com água potável. O experimento teve duração de 105 dias. Os autores não observaram diferenças entre os tratamentos em termos de altura total nos primeiros 60 dias. No entanto, após esse período, os autores constataram que as mudas irrigadas com esgoto tratado apresentaram um desenvolvimento melhor e contínuo em relação às irrigadas com água potável. Isso indica que, após o período de adaptação à irrigação com esgoto tratado, as mudas de *L. ferrea* tendem a se desenvolver mais rapidamente do que aquelas irrigadas com água potável. Ao final do experimento, a altura total das mudas irrigadas com esgoto doméstico tratado foi 70% maior do que a daquelas irrigadas com água potável. Contudo, o diâmetro do coleto não apresentou diferença estatística entre os tratamentos.

Pereira et al. (2013) avaliaram o efluente de aquicultura com viveiros alimentados com rejeito de dessalinização e com rejeito de dessalinização bruto como fontes potenciais de irrigação para mudas de *L. ferrea*, e constataram que o efluente de aquicultura com viveiros alimentados com rejeito de dessalinização foi o tratamento que proporcionou maior crescimento e desenvolvimento das plantas, superando até mesmo a irrigação com água potável.

No estudo de Costa *et al.* (2012), foi observado um rápido crescimento inicial do caule da Timbaúba, em todos os tratamentos, o qual desacelerou após 23 dias de irrigação. Vale destacar que a quantidade de irrigação utilizada por Costa *et al.* (2012) permaneceu constante ao longo do experimento. No presente estudo, a quantidade de solução aplicada também não variou com o tempo, o que pode ter contribuído para uma taxa de crescimento constante durante o período.

O reuso de esgoto doméstico tratado também tem sido testado em outras espécies vegetais nativas da região semiárida do nordeste brasileiro. Rebouças *et al.* (2018) irrigaram mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) com diferentes proporções de esgoto tratado e água (0%; 25%; 50%; 75% e 100%) e observaram crescimento cerca de 70% maior com 100% de esgoto tratado, em comparação com 100% de água potável. Costa *et al.* (2021) também utilizaram as mesmas proporções de esgoto tratado e água para avaliar o desenvolvimento de mudas de timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), mas não encontraram diferença estatística entre os tratamentos, considerando as mesmas variáveis morfológicas analisadas no presente estudo — em contraste com Lima *et al.* (2013), que obtiveram seus melhores resultados irrigando mudas de timbaúba com 100% de esgoto tratado.

Lima *et al.* (2013) também testaram diferentes concentrações de esgoto tratado na irrigação de mudas de mulungu (*Erythrina mulungu*) e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), e constataram uma maior resistência dessas espécies à exposição ao esgoto tratado, com melhores desenvolvimentos obtidos em mudas com 25% e 0% de esgoto tratado. As mudas de jurema branca (*Piptadenia stipulacea*) e moringa (*Moringa oleifera*) também foram testadas por Lima *et al.* (2013). Enquanto a primeira apresentou os melhores resultados nas variáveis morfológicas com 100% e 75% de esgoto tratado, a segunda não apresentou diferença estatística entre os tratamentos.

As necessidades nutricionais de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) para o desenvolvimento saudável da *Libidibia ferrea* (Jucá) dependem do estágio de crescimento, do substrato e do sistema de cultivo. Segundo Rebouças (2018), as doses médias recomendadas para mudas de Jucá na fase de viveiro são: 30 a 80 mg de N por planta durante a fase de crescimento (30 a 120 dias) e 20 a 50 mg de P por planta, equivalente a aproximadamente 8,8 a 22 mg de P elementar. Portanto, esses valores são superiores aos aplicados às mudas de Jucá no experimento, considerando que as quantidades de N e P utilizadas ficaram abaixo dessas recomendações. Ainda assim, as mudas continuaram a se desenvolver de forma progressiva.

Autores têm, ainda, investigado o potencial de mudas e árvores jovens no sequestro de carbono, destacando a importância dessa fase para estimativas precisas de biomassa e contribuições à mitigação das mudanças climáticas. Peece et al. (2015) demonstraram que árvores jovens possuem taxas de crescimento mais aceleradas do que as adultas, o que influencia diretamente a rapidez com que acumulam biomassa e, conseqüentemente, carbono. Os autores mostraram que modelos tradicionais, desenvolvidos para árvores adultas, subestimam o carbono sequestrado por plântulas e indivíduos juvenis, reforçando a necessidade de equações específicas para essa fase do desenvolvimento.

A projeção dos resultados do experimento para uma escala real permite avaliar e discutir o potencial de utilização do UASB_{eff} em projetos de reflorestamento com *Libidibia ferrea* na região semiárida brasileira. Considerando uma estação de tratamento de esgotos (ETE) com vazão de 30 L s⁻¹ de esgoto tratado (18.144 m³ semana⁻¹) e que cada muda de jucá demande aproximadamente 40 L de água residuária por semana durante os primeiros seis meses de plantio — com base em simulações da lâmina de irrigação a partir do volume utilizado neste estudo — essa ETE seria capaz de irrigar cerca de 453.600 mudas. Em condições de campo, recomenda-se um espaçamento de 3 × 3 m entre as mudas (Almeida et al., 2017), correspondendo a uma área de 9 m² por planta.

Dessa forma, estima-se que uma ETE com vazão de 30 L s⁻¹ seja capaz de irrigar aproximadamente 408 ha com *L. ferrea* como espécie-chave para a restauração de áreas degradadas no semiárido brasileiro. Considerando que um hectare de plantio florestal pode absorver cerca de 10 t de carbono por hectare por ano da atmosfera, estima-se que 408 ha de *L. ferrea* sejam capazes de fixar aproximadamente 4.080 t de CO₂ equivalente por ano (Arevalo et al., 2002), evidenciando o papel do reuso de águas residuárias na transição energética e na descarbonização.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que:

- a) O efluente UASB da ETE do complexo turístico de Aquiraz, adicionado a uma concentração de cloreto férrico a 2 mg/L, pode ser utilizado para irrigação de culturas florestais, uma vez que está dentro dos padrões recomendados pela USEPA e pelo COEMA quanto à presença de coliformes termotolerantes (*E. coli*), apresentando valor inferior aos limites máximos estabelecidos. No entanto, para irrigação de culturas florestais, recomenda-se que estas culturas sejam resistentes à salinidade, uma vez que a água residuária apresentou condutividade elétrica acima dos limites estabelecidos por estas instituições, indicando elevado teor de sais.
- b) O tratamento que proporcionou maior altura total da planta (AT) foi o efluente UASB, demonstrando que a substituição da água bruta por esgoto doméstico influencia, de forma positiva, no desenvolvimento das mudas florestais de jucá (*Libidibia ferrea*).
- c) O tratamento que proporcionou maior número de folhas (NF) foi o efluente UASB, demonstrando que a substituição da água bruta por esgoto doméstico influencia, de forma positiva, no desenvolvimento das mudas florestais de jucá (*Libidibia ferrea*).
- d) O tratamento que proporcionou maior diâmetro da base (DB) foi o efluente UASB, demonstrando que a substituição da água bruta por esgoto doméstico influencia, de forma positiva, no desenvolvimento das mudas florestais de jucá (*Libidibia ferrea*).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. A. et al. “Estrutura e funcionamento da vegetação da Caatinga”. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 3, 2007.
- ARAÚJO, F. S. et al. Uso de águas residuárias tratadas na produção de mudas de espécies nativas do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2007.
- AREVALO L. A., Alegre J. C. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. Documentos 73, Embrapa Florestas, Colombo, Brasil, 40 p, 2002.
- ASANO, Takashi et al. *Water reuse: issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece critérios gerais para o reúso direto não potável de água e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- CAIADO, M. A. C. Modeling fate and transport of nitrogen and phosphorus in crop fields under tropical conditions. 2005. Tese (Doutorado em Biological Systems Engineering), Universidade Politécnica da Virgínia, Blacksburg, 2005.
- CHERNICHARO, C. A. L. et al. Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada. PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 155-198.
- COEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado, Fortaleza - CE.
- COSTA, M. S. et al. Produção de mudas de timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. *Irriga*, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 408-422, 2012.
- COSTA, R. H. P. G. Consumo de Água. In: COSTA, R. P.; TELLES, D. (Organizadores). *Reúso da Água: conceitos, teorias e práticas*. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, p. 13-23, 2010.
- DUARTE, J. B. Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola. UFG: Goiânia, 1996.
- COELHO, A. L. Estudo comparativo entre sistemas de tratamento unifamiliar de esgoto com pós-tratamento ou disposição. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

- ESTEVEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: FEALQ, p 87-91, 2009.
- GOMES, J. M. et al. Influência do tratamento prévio solo com brometo de metila no crescimento de mudas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em viveiro. *Brasil Florestal*, v.09, nº35, p 18-13, 1978.
- IPCC. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- JORGENSEN, S. E. Lagos e reservatórios. Qualidade da água: O impacto da eutrofização. UNEP-IET/ILEC/IIIE. PNUMA/Instituto Internacional de Ecologia. São Carlos, SP. Vol. 3. 28p. 2002.
- LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, p. 37, 2008.
- MARQUES, M. O.; et al. Uso de Esgotos Tratados em Irrigação: Aspectos Agronômicos e Ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (Coordenador). *Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, p. 61-116, 2003.
- MONTEIRO, T. L.; Santos, M. L. F. Efeito da aplicação de lodo e de efluente de reator UASB no cultivo de feijão-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2009.
- MOTA, S.; et al. Irrigação com Esgotos Sanitários e Efeitos nas Plantas. In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X., AISSE, M. M. (Coordenadores). *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, p. 201-238, 2006.
- MUSA, M.A.; Idrus, S.; Che Man. Performance Comparison of Conventional and Modified Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors Treating High-Strength Cattle Slaughterhouse Wastewater. *Water* 2019, p. 5-11, 2019.
- NUVOLARI, Ariovaldo; COSTA, A. O. *Tratamento de esgotos sanitários: fundamentos, projeto e operação*. São Paulo: Blucher, p 54-57, 2010.
- PAULA, F. S. Influência de aspectos hidráulicos na otimização de parâmetros de projeto de reatores UASB tratando esgotos domésticos. 126p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- PEECE, N. D. et al. Modelling the growth of young rainforest trees for biomass estimates and carbon sequestration accounting. *Forest Ecology and Management*, 2015.
- PEREIRA, A. R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 2. ed. Belo Horizonte: FAPI, 2008.
- PORTO, R. L. L. et al. *Hidrologia Ambiental*. 1ªEd. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Vol.3.411p. 1991.

- RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. (Editores Técnicos). Manual para áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2010.
- RESENDE, A. V. de, Furtini Neto, A. E., do Vale, F. R., & Silva, I. R. *Liming effects on growth of native woody species from Brazilian savannah*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34(5), 829–837. 1999.
- RIBEIRO, M. C. F. *et al.* Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 639-646, 2012.
- RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2ª Edição. Âmbito Cultural Edições LTDA, 1997.
- ROCHA, Jéssica Camila do Nascimento. *Desinfecção de efluente sanitário anaeróbio com cloro: formação de trihalometanos e inativação microbiana*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, p. 34-39, 2023.
- SADAVA, D.; et al. Vida: a ciência da biologia. 8ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SANTOS, A.; OLIVEIRA, M. Estimativas de biomassa e carbono em espécies lenhosas da Caatinga. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, São Paulo, v. 55, p. 45–60, 2020.
- SANTOS, W. O. dos et al. Utilização de água residuária no crescimento de espécies arbóreas da Caatinga. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 16, n. 1, p. 343–355, 2020.
- SEGARRA, E.; DARWISH, M. R.; ETHRIDGE, D. E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1996.
- SILVA, A. P. O Bioma Caatinga. In: RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. (Editores Técnicos). Manual para de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2010.
- SILVA, J. et al. Full-Tree Biomass, Root Carbon Stock, and Nutrient Use Efficiency Across Ages in *Eucalyptus* Stands. *Plants*, 2025.
- SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F. *Caatinga: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília: MMA, 2018.
- SILVA, S. S. *et al.* Potencial do uso de água residuária na silvicultura utilizando espécies nativas da Caatinga. *Irriga & Inovagri*, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 93-98, 2016.
- SMITH, C. J.; BOND, W. J. Losses of nitrogen from an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, v.37, p.371-389, 1999.
- SOUSA, J. T. *et al.* Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semiárido nordestino. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 260-265, 2005.

THOMANN, V. R. e MUELLER, J. A. Principles of surface Water Quality Modeling and Control. Harper & Row Publishers (ed), E.U.A., 644p. (1987).

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse. Washington - DC: USEPA, 2004.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse. Washington - DC: USEPA, 2012.

VALVERDE, S. R. et al. Silvicultura Brasileira: oportunidades e desafios da economia verde. FBDS, 2012.

VLACH, T.R. Creeping bentgrass responses to water absorbing polymers in simulated golf greens (online). Wisconsin, Aug. 1991. [cited nov. 1998]. Disponível em: <http://kimberly.ars.usda.gov>.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2002.

VON SPERLING, M. Princípios Básicos de Tratamento de Esgotos. 6. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2006.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª Edição. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

ZANINI, A.M. Forest restoration contribution to mitigating climate change: carbon storage as one of the main resources. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2023.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 1: Policy and regulatory aspects. Geneva: WHO, 2006.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. Geneva: WHO, 1989.