



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

MATHEUS LIMA DUARTE

QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FINS DE REÚSO AGRÍCOLA

MOSSORÓ

2024

MATHEUS LIMA DUARTE

QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FINS DE REÚSO AGRÍCOLA

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Talita Dantas Pedrosa

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do autor, sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu respectivo autor sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

LL732 q Lima Duarte , Matheus .
QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FINS DE REÚSO
AGRÍCOLA / Matheus Lima Duarte . - 2024.
35 f. : il.

Orientadora: Talita Dantas Pedrosa .
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2024.
1. Agricultura . 2. Irrigação . 3. Salinidade .
4. Sodiedade . I. Dantas , Talita , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor. Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MATHEUS LIMA DUARTE

QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FINS DE REÚSO AGRÍCOLA

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 08/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

Talita Dantas Pedrosa, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Adler Lincoln Severiano da Silva, Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui mesmo quando por inúmeras vezes pensei em desistir, o Senhor me abençoou e iluminou os meus passos.

A minha família, em especial aos meus pais e irmãos por nunca desistirem de mim, apesar das dificuldades nunca deixaram de me apoiar.

A minha orientadora, Professora Dra. Talita Dantas Pedrosa, pela qual eu sou grato pelos ensinamentos acadêmicos, pela paciência e dedicação frente a esse desafio.

Aos professores Rafael e Adler, pelos ensinamentos repassados em sala e laboratório e por terem aceito fazer parte da banca.

Aos meus amigos e a minha namorada por estarem presentes em todos os momentos difíceis e alegres durante o período da graduação, levarei a amizade de vocês para toda a vida. Obrigado pelo apoio de cada um.

Obrigado a cada um de vocês que de maneira direta e indiretamente contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

RESUMO

Diante da questão da escassez hídrica, é fundamental adotar práticas que melhorem a eficiência no uso da água na irrigação, e o aproveitamento agrícola de águas residuárias é uma prática que vem se tornando cada vez mais frequente, pois a mesma busca minimizar esses desperdícios. Neste sentido, esse trabalho avaliou quatro tipos de águas (efluente sanitário tratado, efluente de aquicultura, percolato de aterro sanitário e água de abastecimento público) quanto aos aspectos de qualidade e potencialidades para uso agrícola, mas com foco nos problemas da salinidade e sodicidade do solo. Nas amostras de águas residuárias e água coletadas, foram determinados atributos físico-químicos ($\text{DBO}_{5,20}$, DQO, pH, condutividade elétrica, turbidez, fósforo total, NTK, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , razão de adsorção de sódio e carbonato de sódio residual) e microbiológicos (coliformes totais). De posse dos resultados verificou-se que para o problema potencial de salinidade o efluente sanitário tratado, o percolato de aterro sanitário e o efluente de aquicultura apresentaram restrições quanto ao uso na irrigação. Já água de abastecimento apresentou problema potencial quanto a infiltração a água no solo com restrição de ligeira a moderada.

Palavras-chave: Agricultura, Irrigação, Salinidade, Sodicidade.

ABSTRACT

Faced with the issue of water scarcity, it is essential to adopt practices that improve the efficiency of water use in irrigation, and the agricultural use of wastewater is a practice that is becoming increasingly common, as it seeks to minimize this waste. In this sense, this work evaluated four types of water (treated sanitary effluent, aquaculture effluent, landfill percolate and public water supply) in terms of quality aspects and potential for agricultural use, but with a focus on the problems of salinity and sodicity of the water. ground. In the collected wastewater and water samples, physical-chemical attributes were determined (BOD_{5.20}, COD, pH, electrical conductivity, turbidity, total phosphorus, NTK, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, sodium adsorption ratio and residual sodium carbonate) and microbiological (total coliforms). With the results, it was found that, due to the potential problem of salinity, the treated sanitary effluent, landfill percolate and aquaculture effluent presented restrictions regarding their use in irrigation. Water supply presented a potential problem regarding water infiltration into the soil with mild to moderate restrictions.

Keywords: Agriculture, Irrigation, Salinity, Sodicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação dos locais onde ocorreram as coletas das águas residuárias e de abastecimento.....	17
Figura 2 - Localização dos laboratórios em que foram realizadas as análises das águas residuárias e de abastecimento.....	20
Figura 3 - Análises da demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio ..	22
Figura 4 - Análises do pH e condutividade elétrica.....	24
Figura 5 - Análises de cálcio, magnésio e sódio.....	26
Figura 6 - Análises de cloreto, fósforo total e potássio.....	28
Figura 7 - Análise da razão de adsorção de sódio.....	30
Figura 8 - Redução relativa da infiltração provocada pela salinidade e a relação de adsorção de sódio.....	32
Figura 9 - Análises de carbonato e bicarbonato.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Parâmetros físico-químicos, bioquímicos e microbiológicos das águas residuárias e de abastecimento estabelecidos pela legislação ambiental e a literatura nacional dos parâmetros de interesse de uso da água para fins de irrigação.....	21
Tabela 2	–	Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação	31
Tabela 3	–	Riscos de problemas de salinidade e infiltração do solo.....	31
Tabela 4	–	Resultados obtidos e o seu padrão na irrigação.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

pH	Potencial Hidrogeniônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CE	Condutividade Elétrica
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
CO_3^{2-}	Carbonato
HCO_3	Bicarbonato
Na^+	Sódio
K^+	Potássio
Ca^{2+}	Cálcio
Mg^{2+}	Magnésio
Cl^-	Cloreto
Tb	Turbidez
CT	Coliformes Termotolerantes
P	Fósforo
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
CSR	Carbonato de Sódio Residual
EST	Efluente Sanitário Tratado
PAS	Percolado de Aterro Sanitário
EA	Efluente de Aquicultura
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
AA	Água de Abastecimento
LASAN	Laboratório de Saneamento
LASAP	Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta
LPDE	Laboratório de Parasitologia Diagnóstica e Experimental
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
UERA	Unidade Experimental de Reúso de Água
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
NMP	Número Mais Provável
UE	União Europeia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Caracterização do semiárido nordestino brasileiro.....	14
3.2	Reúso de águas residuárias: sua importância e a legislação ambiental	15
3.3	Impactos ambientais no solo e na planta decorrentes da utilização de águas residuárias na agricultura	16
4	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1	Tipos de águas residuárias e identificação dos locais de coleta	17
4.2	Periodicidade da coleta das amostras das águas residuárias	18
4.3	Parâmetros de qualidade da água residuária e de abastecimento	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5.1	Razão de adsorção de sódio	30
5.2	Avaliação da água para irrigação	31
5.3	Carbonato de sódio residual	33
6	CONCLUSÕES	35
7	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida do Nordeste Brasileiro é caracterizada principalmente pelos baixos índices pluviométricos, alta taxa de evapotranspiração, longos períodos de seca, instabilidade climática e o elevado déficit hídrico. Diante desta situação, a água se torna um recurso limitado para diversas atividades, incluindo a agricultura irrigada. Portanto, o uso de águas residuárias como aproveitamento agrícola se torna uma estratégia para mitigar esse problema (Bezerra *et al.* 2019).

Embora o Brasil possua a maior reserva de água doce do mundo em seu território, a preocupação com a disponibilidade está relacionada à qualidade da água, bem como a sua distribuição de forma desproporcional, mesmo sendo um direito de toda população (Santos *et al.*, 2020).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020), a necessidade de uso de água no Brasil está em constante crescimento com cerca de 80% do total retirado nos últimos vinte anos. Prevê-se um aumento adicional de 23% até 2030, principalmente devido ao processo de urbanização e ao desenvolvimento econômico do país.

A utilização de sistemas de reúso, desde que seja uma técnica viável economicamente, oferece diversas vantagens ao meio ambiente desde a conservação dos recursos hídricos, a redução da demanda por água potável e a diminuição no lançamento de efluentes nos corpos d'água. É importante destacar que além dos benefícios ambientais a adoção de sistemas de reúso apresenta impactos relevantes no âmbito econômico e social (Barroso; Wolff, 2011).

Nos últimos anos, houve um aumento significativo no uso de efluentes na agricultura em muitos países, incluindo o Brasil. No entanto, ainda não foram totalmente examinados todos os aspectos positivos e negativos dessa prática, especialmente no que diz respeito aos efeitos sobre as propriedades físicas e químicas do solo, à absorção de nutrientes pelas plantas e a sua toxicidade (Sandri; Matsura; Testezlaf, 2006).

Segundo Barroso e Wolf (2011), níveis elevados de Na^+ provocados pela irrigação desses efluentes podem ocasionar toxidade para algumas culturas e modificar a estrutura do solo. O aumento da concentração de substâncias químicas no solo representa outra consequência adversa que podem ocasionar salinidade dependendo das características destes efluentes e do seu uso por longos períodos na irrigação (Foster; Gale; Hespanhol, 1994).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade de quatro diferentes tipos de águas, das quais, três delas são residuárias e uma água de abastecimento, com vistas a identificar suas potencialidades para o uso na agricultura e atendimento aos padrões de qualidade de águas residuárias para fins de reúso agrícola.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a qualidade da água de abastecimento, efluente sanitário tratado, efluente de aquicultura e percolado de aterro sanitário, por meio da determinação do teor de cálcio - Ca^{2+} , magnésio - Mg^{2+} , sódio - Na^+ , cloretos - Cl^- , potássio - K^+ , condutividade elétrica da água - CEa, potencial hidrogeniônico - pH, fósforo total - P total, nitrogênio total Kjeldahl - NTK, carbonato - CO_3^{2-} , bicarbonato - HCO_3^{2-} , turbidez - Tb, coliformes termotolerantes - CT, demanda bioquímica de oxigênio - $\text{DBO}_{5,20}$ e demanda química de oxigênio - DQO.

Determinar os valores da razão de adsorção de sódio (RAS) e do teor de carbonato de sódio residual (CSR) destas quatro águas.

Analisar o risco de salinidade e perigo de sodicidade pelo uso das águas estudadas no solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização do semiárido nordestino brasileiro

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) a região semiárida do Brasil abrange 1.477 municípios, situados nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo.

É sabido que a característica climática predominante no semiárido do Nordeste brasileiro é a variação instável no tempo e no espaço das precipitações pluviais, juntamente com altas taxas de temperatura e evaporação. Com uma média anual de precipitação pluvial igual ou inferior a 800 milímetros e temperaturas médias anuais elevadas, igualando ou ultrapassando os 25°C, essa condição climática abrange praticamente toda a região interior do Nordeste (Lucena *et al.*, 2018).

Nessa área, há uma predominância de falta de chuvas e padrões irregulares, além de uma evaporação anual significativa, ultrapassando 2.000 mm, e solos pouco profundos que retêm pouca umidade (Silva *et al.*, 2014). Condições como essas têm causado muitos problemas resultando em longos períodos de seca, crise hídrica e impactos adversos.

Em razão dessa variabilidade climática e instabilidade hídrica no Nordeste do Brasil tornam imprescindível o uso da irrigação para garantir uma produção agrícola segura; no entanto, a pressão humana sobre fontes de água de boa qualidade e a crescente demanda por expansão na produção agrícola estão levando à necessidade inevitável de utilizar fontes de água de qualidade inferior (Silva *et al.*, 2013).

3.2 Reúso de águas residuárias: sua importância e a legislação ambiental

Nas áreas semiáridas, a disponibilidade limitada de água representa um desafio significativo para o progresso social, industrial e agrícola. Portanto, é imprescindível integrar os princípios do reúso da água à estratégia nacional de gestão de recursos hídricos e ao desenvolvimento agrícola, especialmente em regiões onde a demanda por água não é atendida de forma adequada (Hespanhol, 2002).

Frente a essa situação, podem-se mencionar algumas das vantagens que o reúso de águas residuárias pode oferecer sob a perspectiva econômica, social e ambiental, sendo elas recuperação e economia de água, diminuição dos gastos com fertilizantes químicos acarretando na redução dos custos de produção, aumento da fertilidade do solo devido ao acréscimo de nutrientes oriundos da incorporação de matéria orgânica dos efluentes e aumento da produção agrícola (Guidolin, 2006).

Alguns dos benefícios do reúso estão ligados à preservação da saúde pública e do meio ambiente, bem como ao saneamento ambiental e à gestão dos recursos hídricos. Para implementar

o reúso de forma adequada, é fundamental compreender as leis pertinentes e determinar a abordagem correta (Cunha *et al.*, 2011).

O Art. 37º da Resolução do COEMA nº 2/2017 estabelece as seguintes modalidades para reúso: 1) Reúso para fins urbanos: utilização de águas de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagens de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio dentro da área urbana; 2) Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de águas de reúso para produção agrícola e cultivos de florestas plantadas; 3) Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para a implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; 4) Reúso para fins industriais: utilização de reúso em processos, atividades e operações industriais; 5) Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou para cultivo de vegetais aquáticos (CEARÁ, 2017).

Sobre o reúso de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais, o Art. 39º da Resolução do COEMA nº 2/2017 estabelece os seguintes parâmetros: 1) Coliformes termotolerantes para culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação: não detectado; para as demais culturas: até 1000 CT/100ml; 2) Ovos de geohelmintos para culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação: não detectado; para as demais culturas: até 1 ovo de geohelmintos/L de amostra; 3) Condutividade elétrica até 3,0 dS m⁻¹; 4) pH entre 6,0 e 8,5; 5) Razão de adsorção de sódio (15mmol_c L⁻¹)0,5 (CEARÁ, 2017).

Para o reúso de efluentes não sanitários o Art. 42º da Resolução do COEMA nº 2/2017 estabelece que o parâmetro a ser adotado vai variar conforme a modalidade de reúso adotada, seguindo aos parâmetros estabelecidos nos Arts 38º a 41º, além de seguir os parâmetros do Art. 11º que não são contemplados nos artigos supracitados (CEARÁ, 2017).

3.3 Impactos ambientais no solo e na planta decorrentes da utilização de águas residuárias na agricultura

A utilização de águas residuárias na agricultura pode resultar em benefícios para a preservação ambiental e a saúde pública. Segundo Hespanhol (2008), algumas vantagens sobre o reúso na agricultura podem ser mencionados, como a conservação do solo pelo acúmulo de matéria orgânica contribuindo para aumentar a resistência a erosão, suprimento parcial de nutrientes para as plantas, redução na descarga de efluentes nos corpos hídricos e aumento da produção agrícola.

Contudo, quando empregadas sem critério, as águas residuais podem impactar certas características do solo. Concentrações elevadas de sódio ou baixas de cálcio e magnésio na água podem ocasionar dispersão da argila e obstrução dos poros, resultando na diminuição da infiltração de água no solo (Bertossi, 2013).

Os efeitos da aplicação de água residuária nas propriedades químicas do solo só se manifestam de forma significativa após um longo período de uso, influenciados por fatores como a composição física e química, as condições climáticas e o tipo de solo (Medeiros *et al.*, 2005). De acordo com Ayers e Westcot (1999), o principal desafio ao emprego de águas residuárias na agricultura reside na sua composição química, que inclui a quantidade total de sais dissolvidos, a presença de íons nocivos e a proporção de sódio, além da capacidade das culturas de suportarem esse tipo de efluente.

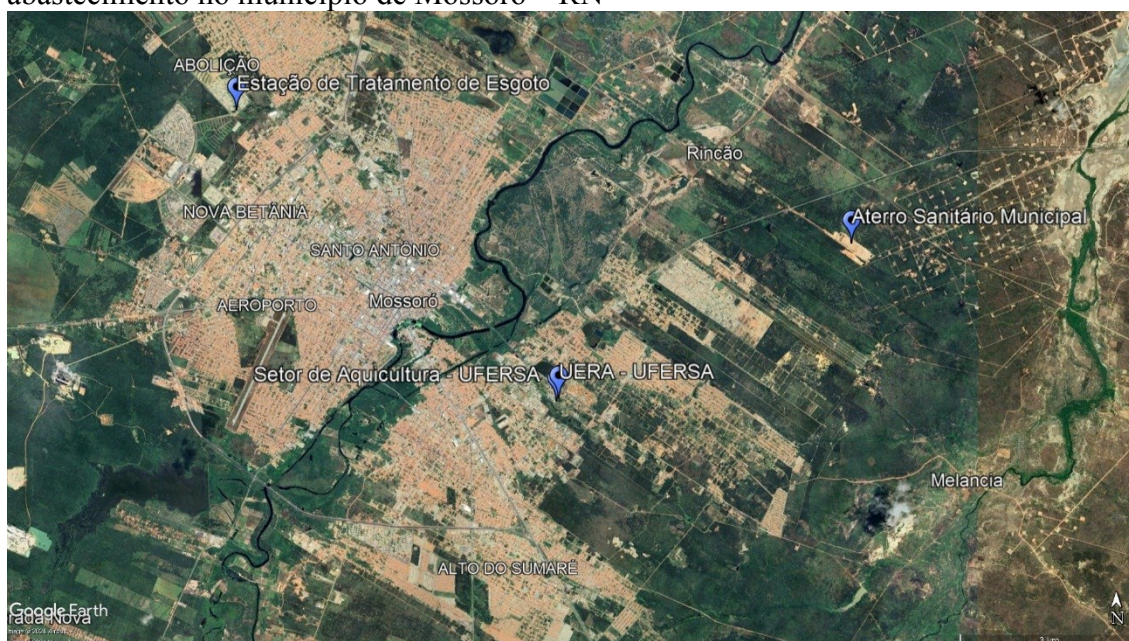
Dessa maneira, é imprescindível ter conhecimento sobre a composição química da água residuária utilizada e os mecanismos que afetam a infiltração de água no solo, a fim de adotar práticas de manejo adequadas e minimizar os impactos negativos sobre o solo e as plantas (Bertossi, 2013).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Tipos de águas residuárias e identificação dos locais de coleta

Foram utilizados três tipos de águas residuárias (efluente da aquicultura, efluente sanitário tratado e percolado de aterro sanitário), além destas foi avaliada a qualidade da água de abastecimento fornecida pela Companhia de águas e esgoto do Rio Grande do Norte – CAERN, coletada de poço profundo localizado nas dependências da UFERSA, Campus Mossoró, conforme identificação apresentada na Figura 1.

Figura 1. Identificação dos locais onde ocorreram as coletas das águas residuárias e de abastecimento no município de Mossoró – RN



Fonte: Google Earth (2024).

O efluente de aquicultura foi coletado no setor de aquicultura da UFERSA, campus Mossoró, onde ocorre o cultivo de peixes e camarão para fins de pesquisa. O percolado de aterro sanitário foi coletado diretamente de uma lagoa de tratamento existente nas dependências do aterro sanitário do município e a coleta do efluente sanitário tratado ocorreu na saída do sistema de tratamento em uma estação de tratamento de esgoto de um condomínio residencial também localizado no município de Mossoró-RN, ao qual utiliza para o tratamento do esgoto reator biológico, além de tratamento a nível preliminar e terciário.

4.2 Periodicidade da coleta das amostras de águas residuárias e de abastecimento

As coletas ocorreram em dois períodos distintos, o efluente sanitário tratado foi coletado no mês de dezembro/2023 em um condomínio residencial localizado em Mossoró e as demais águas avaliadas foram coletadas no mês de fevereiro/2024. Durante as coletas, as amostras foram armazenadas em garrafas plásticas de um litro e guardadas em caixa isotérmica com gelo, sendo posteriormente encaminhadas ao LASAN e ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta – LASAP, ambos localizados na UFRSA – Mossoró, para análise dos parâmetros de qualidade de águas residuárias. Na Figura 2 é possível observar a localização dos laboratórios em que foram realizadas as análises.

Figura 2. Localização dos laboratórios em que foram realizadas as análises das águas residuárias e de abastecimento



Fonte: Google Earth (2024).

4.3 Parâmetros de qualidade da água residuária e de abastecimento

Os procedimentos de coleta, transporte, preservação e análises das amostras de águas residuárias seguiram as recomendações da da Embrapa (Parron; Muniz; Pereira, 2011), Matos (2012) e Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Baird *et al.*, 2017).

As análises realizadas no LASAP/UFRSA correspondem aos indicadores de cálcio - Ca^{2+} , magnésio - Mg^{2+} , sódio - Na^{+} , cloretos - Cl^{-} , potássio - K^{+} , carbonato - CO_3^{2-} e bicarbonato - HCO_3^{2-} ambos foram obtidos por titulação, condutividade elétrica da água – CEa medido através de um condutímetro de bancada, potencial hidrogeniônico – pH obtido através de um peagâmetro

de bancada e nitrogênio total Kjeldahl – NTK obtido através do método semi-micro Kjeldahl. No LASAN/ UFERSA foram determinados os atributos de Turbidez – Tb obtido através do turbidímetro de bancada, fósforo total – P total foi determinado por espectofotômetria, demanda bioquímica de oxigênio - DBO determinada pelo método de incubação e demanda química de oxigênio – DQO obtida pelo método do refluxo fechado - colorimétrico. A análise de coliformes totais e termotolerantes foi determinada para o efluente de esgoto tratado usando a técnica dos tubos múltiplos para se determinar o número mais provável (NMP/100ml), essa análise foi realizada no Laboratório de Parasitologia Diagnóstica e Experimental -LPDE/UFERSA.

Adicionalmente foram determinadas a razão de adsorção de sódio – RAS e a concentração de carbonato de sódio residual – CRS, como proposto por Richards (1954) e Eaton (1950), empregando-se as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad 1$$

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) + (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad 2$$

Em que:

RAS – Razão de adsorção de sódio, em $(mmol_c L^{-1})^{0,5}$;

CSR – Carbonato de sódio residual, em $(mmol_c L^{-1})$; e

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^{2-} - concentrações de sódio, cálcio, magnésio, carbonato e bicarbonato em $(mmol_c L^{-1})$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar a qualidade das águas residuárias para fins de reúso agrícola, os resultados obtidos foram analisados por meio de gráficos e tabelas e posteriormente comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução COEMA nº 2/2017 no seu Capítulo III - Das condições e padrões para reúso (CEARÁ, 2017), os parâmetros estabelecidos pelo Almeida (2010) para avaliar a água de irrigação e os parâmetros da Regulamento (UE) 2020/741 do parlamento europeu (UE, 2020) seguindo as normas estabelecidas pela Diretiva n.º 91/271/CEE (PORTUGAL, 1991) relativa ao tratamento de águas residuárias urbanas.

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros e padrões de qualidade da água de abastecimento e das águas residuárias.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos, bioquímicos e microbiológicos das águas residuárias e de abastecimento estabelecidos pela legislação ambiental e a literatura nacional dos parâmetros de interesse de uso da água para fins de irrigação

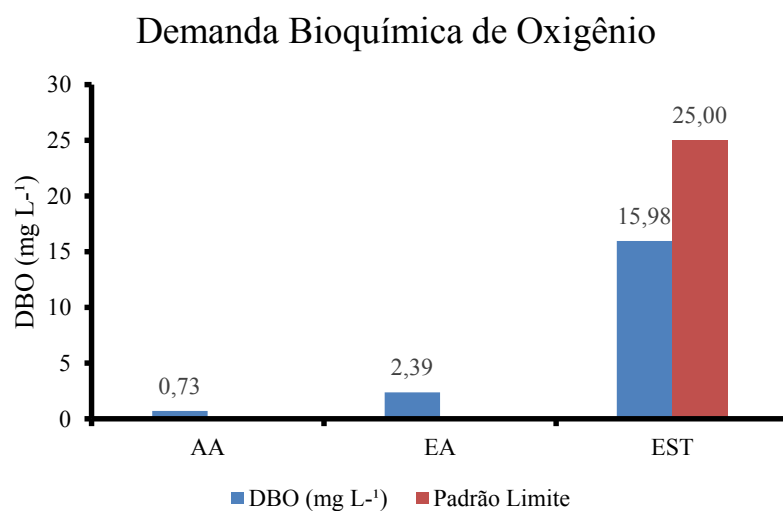
Parâmetros	AA	EA	EST	PAS	Padrão
DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	0,73	2,39	15,98	–	<25,00 ¹
DQO (mg L ⁻¹)	1,45	57,21	74,74	7150,32	<125,00 ¹ <200,00 ²
pH	8,61	8,64	7,70	9,23	6,0 - 8,5 ² 5,0 - 9,0 ²
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,42	30,20	2,77	37,75	0 - 20,0 ³
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	5,78	21,30	1,33	3,75	0 - 5,0 ³
CO ₃ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	0,46	0,84	0,00	–	0 - 0,1 ³
HCO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	2,55	4,26	9,24	–	0 - 10 ³
CSR (mmol _c L ⁻¹)	-3,29	-46,40	5,21	–	<1,25 (recomendável) 1,25-2,5 (pouco recomendável) >2,5 (não recomendável) ³
NTK (mg L ⁻¹)	–	–	55,63	–	–
P total (mg L ⁻¹)	0,021	–	0,50	16,44	0 - 2,0 ³
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,62	1,17	1,08	46,47	0 - 2,0 ³
CE (dS m ⁻¹)	0,51	4,86	1,38	26,53	0 - 3,0 ² 0 - 3,0 ³
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	3,50	22,76	4,69	148,69	0 - 40,0 ³
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	2,00	4,50	3,30	32,60	0 - 15,0 ² 0 - 15,0 ³
Turbidez (UNT)	0,29	10,40	17,40	24,70	–
Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	15,00	45,00	5,20	375,00	0 - 30 ³
CT (NMP 100 ml ⁻¹)	–	–	11000	–	< 1000,00 ²

Fonte: Autor (2024). **Legenda:** AA - Água de abastecimento; EA - Efluente de aquicultura; EST- Efluente sanitário tratado; PAS - Percolado de aterro sanitário; DBO_{5,20} – Demanda Bioquímica de oxigênio; DQO - Demanda bioquímica de oxigênio; pH - Potencial hidrogeniônico; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; CO₃²⁻ – Carbonatos; HCO₃⁻ - Bicarbonato; CSR– Carbonato de sódio residual; NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl; P total – Fósforo total; K⁺ - Potássio; CE - Condutividade elétrica; Na⁺ - Sódio; Cl⁻ - Cloretos; RAS - Razão de adsorção de sódio; CTermo-Coliforme termotolerantes; (¹) Regulamento (UE) 2020/741 do parlamento europeu (UE, 2020) seguindo as normas estabelecidas pela Diretiva n.º 91/271/CEE relativa ao tratamento de águas residuárias urbanas (PORTUGAL, 1991); (²) Resolução Coema nº 2/2017, referente aos critérios para reúso externo de efluentes não sanitários com fins agrícolas e florestais (CEARÁ, 2017); e (³) Qualidade da água de irrigação (Almeida, 2010).

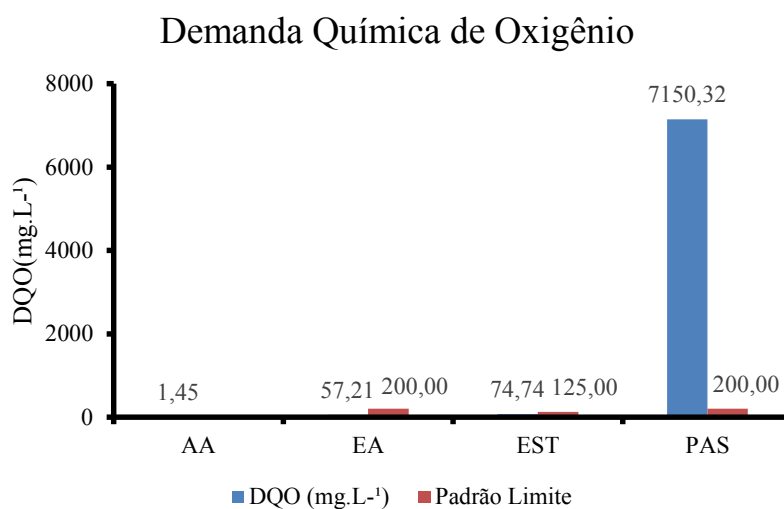
A Figura 3 apresenta os parâmetros bioquímicos de $\text{DBO}_{5,20}$ e DQO das análises das águas residuárias e de abastecimento e o seu respectivo padrão para fins de reúso agrícola.

Figura 3. Análise da demanda bioquímica de oxigênio e o seu padrão estabelecido pelo Regulamento (UE) 2020/741 do parlamento europeu (UE, 2020) relativa ao tratamento de águas residuais (A), ebm como a análise da demanda química de oxigênio e o seu padrão estabelecido pelo COEMA nº 2/2017 (B)

A



B



Fonte: Autor (2024).

Para o efluente sanitário tratado, os valores de DBO ($15,98 \text{ mg L}^{-1}$) e DQO ($74,74 \text{ mg L}^{-1}$) estavam conforme as normas estabelecidas pela Diretiva n.º 91/271/CEE (PORTUGAL, 1991) relativa ao tratamento de águas residuárias urbanas da Tabela 1, onde os padrões foram 25 mg L^{-1} e 125 mg L^{-1} , respectivamente.

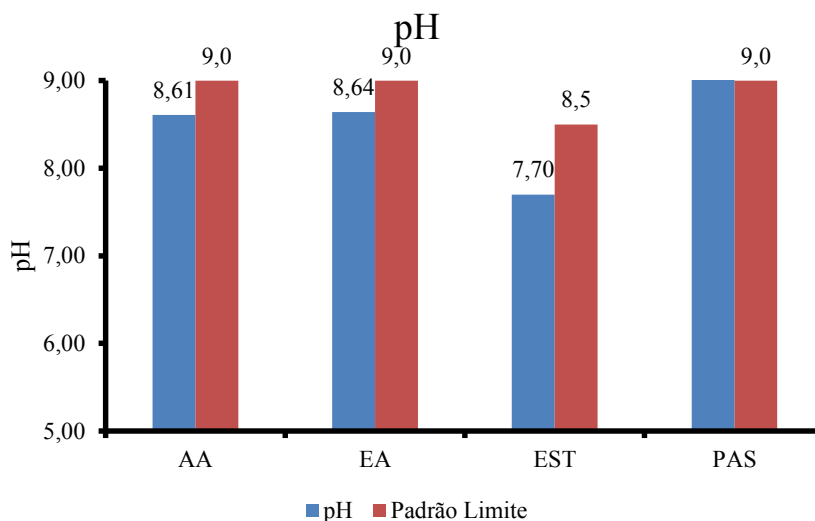
Para o efluente de aquicultura e a água de abastecimento os valores de DBO não possuem padrões estabelecidos, já os valores de DQO foram $0,73 \text{ mg L}^{-1}$ e $2,39 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, e estavam no padrão de 200 mg L^{-1} estabelecido pela Resolução COEMA nº 2/2017 Capítulo III, Das condições e padrões para reúso Art. 42º (CEARÁ, 2017).

Já o percolato de aterro sanitário não atendeu ao padrão de DQO estabelecido na resolução citada, sua DQO foi de $7150,32 \text{ mg L}^{-1}$, acima da faixa permitida que é de até 200 mg L^{-1} . Por se tratar de uma água residuária com alta toxicidade foi identificado que não há atividade biológica, por isso optou-se por não realizar a análise de DBO.

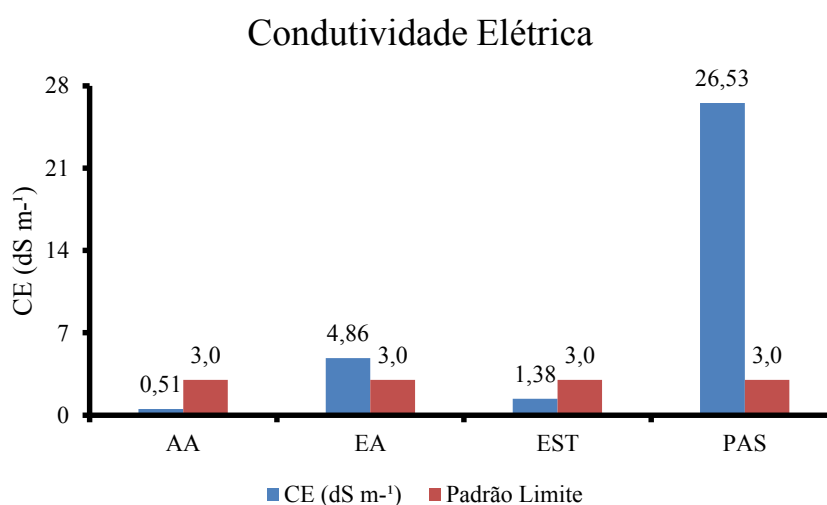
Na Figura 4 estão apresentados os valores de pH e condutividade elétrica.

Figura 4. Análise do pH e o seu padrão estabelecido pela resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017) das condições e padrões para reúso de efluentes sanitários e não sanitários (A); e condutividade elétrica com o seu padrão estabelecido pela mesma resolução citada e por Almeida (2010) (B)

A



B



Fonte: Autor (2024).

Para o efluente sanitário tratado e a água de abastecimento os parâmetros de pH e condutividade elétrica estavam dentro dos limites estabelecidos pela Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017) e por Almeida (2010), respectivamente.

O efluente de aquicultura apresentou condutividade elétrica no valor de 4,86 dS m⁻¹ estando acima do padrão de 3,0 dS m⁻¹, e pH 8,64 dentro do padrão estabelecido de 5,0 a 9,0. Resultados semelhantes foram apresentados por Medeiros *et al.* (2013).

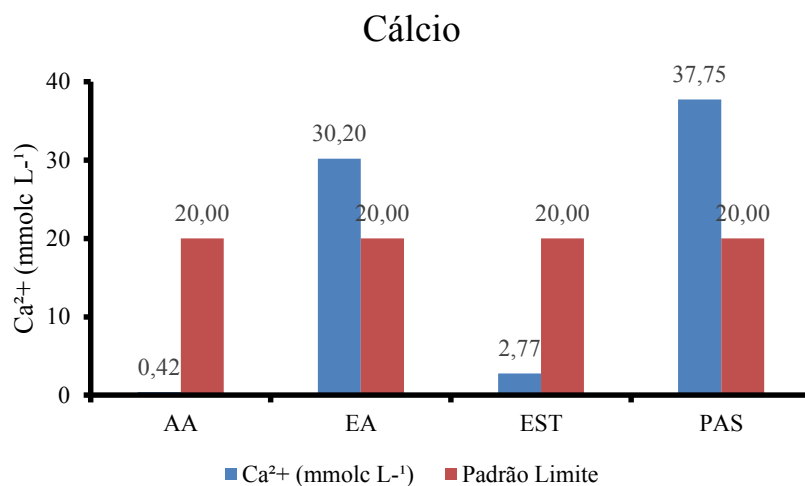
No percolado de aterro sanitário, os valores não atenderam aos padrões estabelecidos pela

resolução, pH e condutividade elétrica foram acima de 9,0 e 3,0 dS m⁻¹, respectivamente.

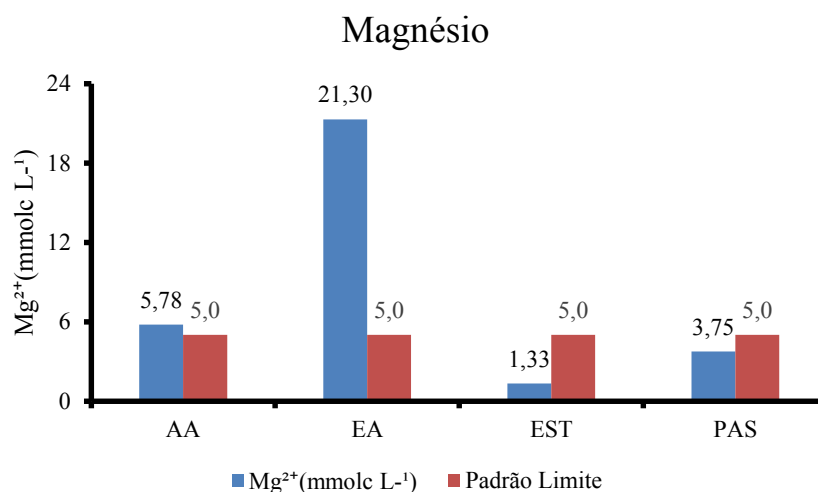
Na Figura 5 estão apresentados os valores obtidos das análises de cálcio, magnésio e sódio.

Figura 5. Análises de cálcio (A), magnésio (B) e sódio (C) e os seus respectivos padrões estabelecidos por Almeida (2010) para avaliar a água de irrigação

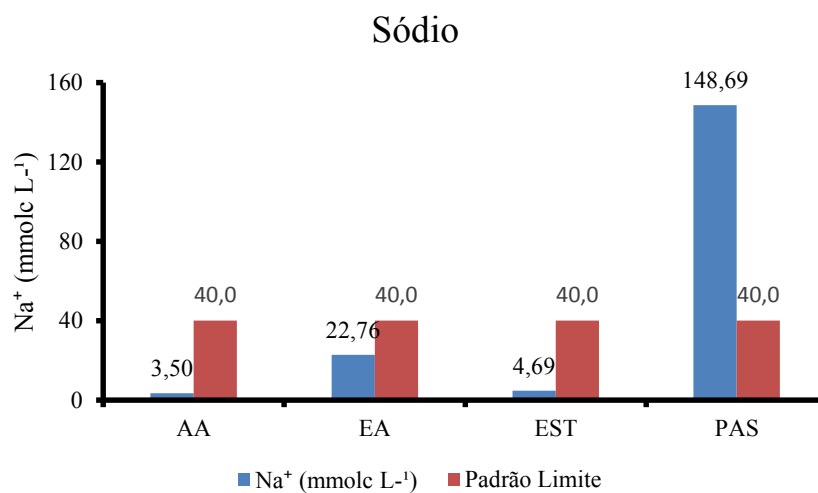
A



B



C



Fonte: Autor (2024).

O efluente sanitário tratado se adequou aos padrões estabelecidos por Almeida (2010) para cálcio, magnésio e sódio de $2,77 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, $1,33 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $4,69 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Bezerra *et al.* (2021) utilizando o efluente coletado a montante do reator biológico aerado.

A água de abastecimento atendeu aos padrões estabelecidos por Almeida (2010) para cálcio e sódio, com excessão do magnésio que obteve valor de $5,78 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ superando o padrão de $5,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

Para o efluente de aquicultura os valores de cálcio e magnésio de $30,20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $21,30 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ superaram o limite padrão, já o sódio se adequou ao padrão.

O percolado de aterro sanitário atendeu ao parâmetro para magnésio, com excessão do cálcio e sódio que obtiveram valores fora da faixa permitida.

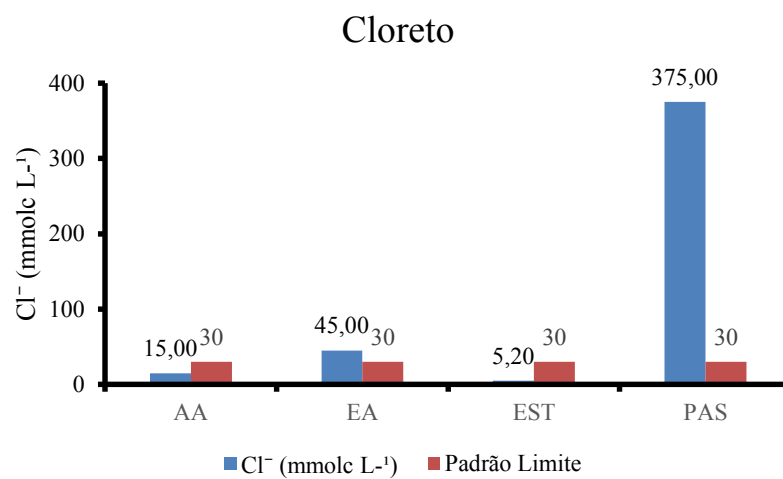
Segundo Ayers e Wescot (1999), os níveis de sódio acima de $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ representa grau de restrição ligeira e moderada, quando se trata de irrigação por aspersão, pois a toxicidade desse íon afeta culturas sensíveis.

De acordo com Pizarro (1985), algumas fruteiras como morangueiro, videira, pessegueiro, abacateiro, citros, amendoeira e a cultura extensiva do milho são afetadas pelo íon sódio.

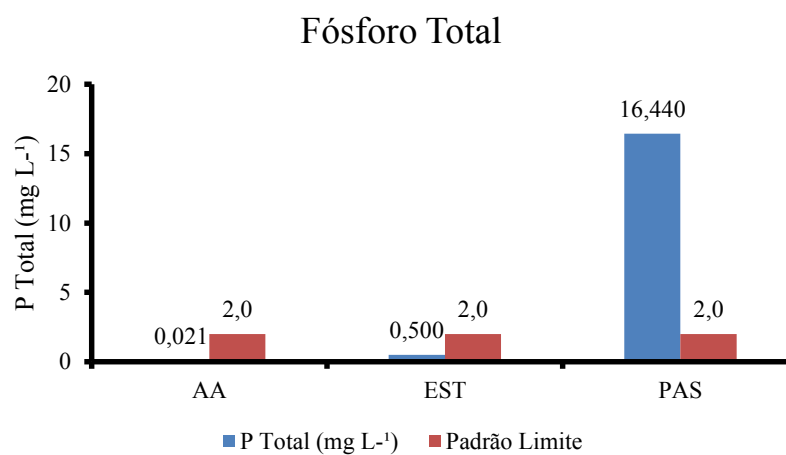
Na Figura 6 estão apresentados os valores das análises de cloreto, fósforo total e potássio.

Figura 6. Análises de cloreto (A), fósforo total (B) e potássio (C) e os seus respectivos padrões estabelecidos por Almeida (2010) para avaliar a água de irrigação

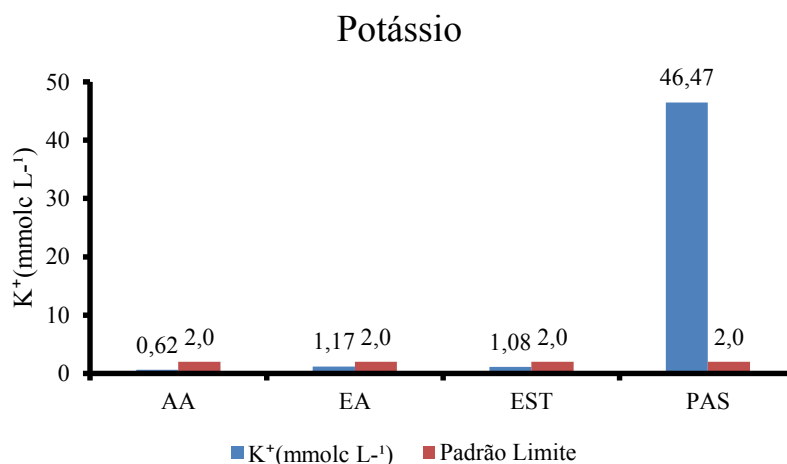
A



B



C



Fonte: Autor (2024).

Para o efluente sanitário tratado e a água de abastecimento os valores de cloreto, fósforo total e potássio atenderam aos critérios de Almeida (2010).

O efluente de aquicultura obteve valores acima do padrão para cloreto (45,0 mmolc L⁻¹), e valores de potássio (1,17 mmolc L⁻¹) dentro do estabelecido.

O percolado de aterro sanitário ultrapassou os limites estabelecidos por Almeida (2010) nas três análises.

Segundo Ayers e Wescot (1999), os níveis de Cl⁻ acima de 10 mmolc L⁻¹ estabelece um grau de restrição severa na irrigação superficial, e níveis acima de 3 mmolc L⁻¹ implicaria numa restrição de ligeira a moderada na irrigação por aspersão.

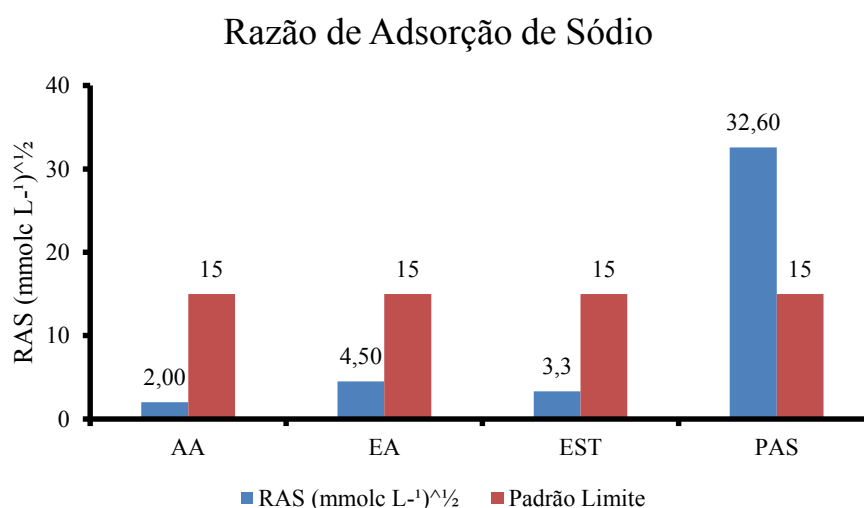
De acordo com Pizarro (1985), algumas fruteiras como abacateiro, citros, videira, hortaliças como batata-doce e culturas extensivas como fumo são afetadas pelo íon cloreto.

5.1 Razão de adsorção de sódio

A razão de adsorção de sódio é um parâmetro que indica a proporção relativa que se encontra o Na^+ em relação com Ca^{2+} e Mg^{2+} (Almeida, 2010). Essa análise é utilizada como um dos critérios para se determinar a sodicidade.

Com os valores obtidos de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} foi calculada a RAS pela equação de Richards (1954) e posteriormente comparada com os padrões estabelecidos pela Resolução do COEMA nº 2/2017 das condições e padrões para reúso de efluentes sanitários e não sanitários e por Almeida (2010). Na Figura 7 estão apresentados os valores das respectivas RAS das águas residuais e da água de abastecimento.

Figura 7. Análise da razão de adsorção de sódio



Fonte: Autor (2024).

5.2 Avaliação da água para irrigação

No que se refere à possibilidade de aumento dos níveis de salinização e à diminuição da infiltração de água no solo devido à aplicação de água de irrigação, Ayers e Westcot (1999) propuseram certos indicadores químicos que possibilitam a detecção desse tipo de problema.

Na Tabela 2 estão apresentadas as diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.

Tabela 2. Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação

Grau de Restrição de Uso				
Problema Potencial	Unidades	Nenhum	Ligeira e Moderada	Severa
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para as plantas)				
Condutividade Elétrica da água (CEa)	dS m-1	< 0,70	0,7-3,0	> 3,0
Infiltração (avaliada usando-se CEes e RAS, conjuntamente)				
RAS = 0 – 3 e CEa =		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
= 3 – 6 e CEa =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
= 6 – 12 e CEa =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
= 12 – 20 e CEa =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
= 20 – 40 e CEa =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1999).

A Tabela 3 apresenta as análises das águas residuárias e de abastecimento utilizadas para interpretar o grau de restrição para os problemas de salinidade e infiltração.

Tabela 3. Riscos de problemas de salinidade e infiltração no solo

Restrição para o uso na irrigação	AA	EA	EST	PAT
Problema potencial				
Salinidade	N	S	LM	S
Infiltração	LM	N	N	N

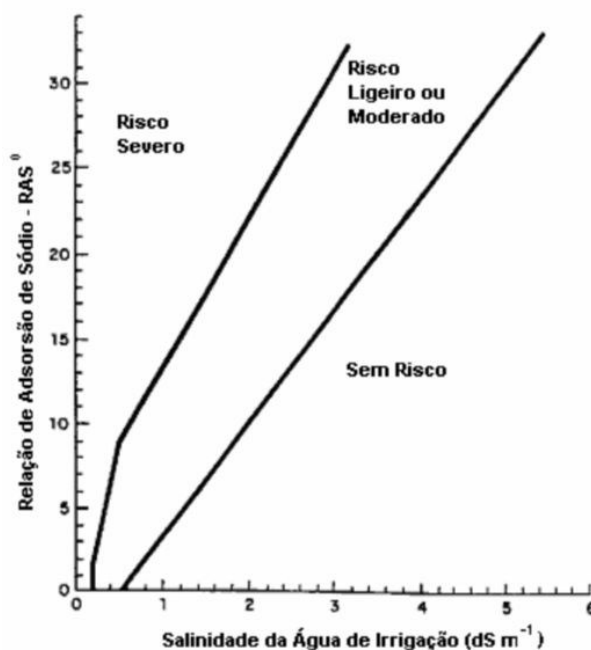
Fonte: Autor (2024). **Legenda:** AA- Água de abastecimento; EA- Efluente de aquicultura; EST- Efluente sanitário tratado; PAT- Percolado de aterro sanitário; N- Nenhuma; LM- Ligeira e moderada; S- Severa.

A Tabela 3 foi empregada como método para avaliar o risco de salinização do solo utilizando a água de irrigação, notou-se que a água de abastecimento de acordo com a sua condutividade elétrica não possui restrição ao uso no critério de salinidade pois possui $CE < 0,70$ dS m⁻¹.

O efluente sanitário tratado apresenta um risco potencial moderado, pois o valor da sua CE foi de 1,38 dS m⁻¹, já no efluente de aquicultura e no percolado de aterro sanitário o grau de restrição de uso foi severo, ambos obtiveram CE's maiores que 3 dS m⁻¹.

Utilizando a mesma tabela como critério para avaliar o risco potencial de infiltração do solo ao utilizar a água de irrigação. Observou-se que a água de abastecimento possui um grau de restrição moderado para o potencial uso na irrigação, avaliando a $CEa = 0,5 \text{ dS m}^{-1}$ e $RAS = 2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ conjuntamente (Figura 8), o valor obtido foi entre $0,7 - 0,2 \text{ dS m}^{-1}$. Já o efluente de aquicultura, efluente de esgoto e o percolato de aterro sanitário não possuem nenhuma restrição para causar problema de infiltração.

Figura 8. Redução relativa da infiltração provocada pela salinidade e a relação de adsorção de sódio



Fonte: Rhoades (1977) e Oster e Schroer (1979).

A Figura 8 mostra os intervalos de risco associados à diminuição da taxa de infiltração de água no solo em relação aos níveis (relação de adsorção de sódio e condutividade elétrica na água).

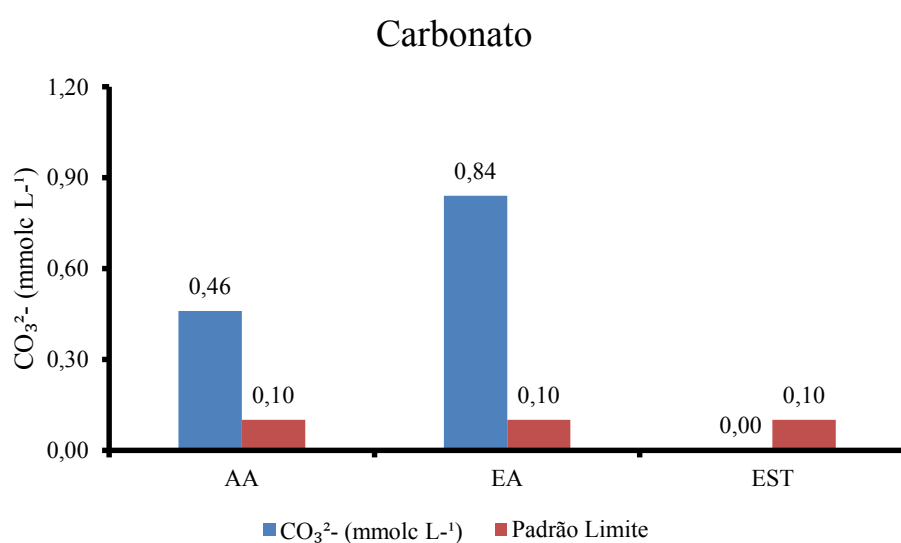
5.3 Carbonato de sódio residual

O carbonato de sódio residual é um parâmetro que avalia a qualidade da água de irrigação, no que diz respeito a influência da presença de íons carbonato e bicarbonato no cálculo da Razão de Adsorção de Sódio.

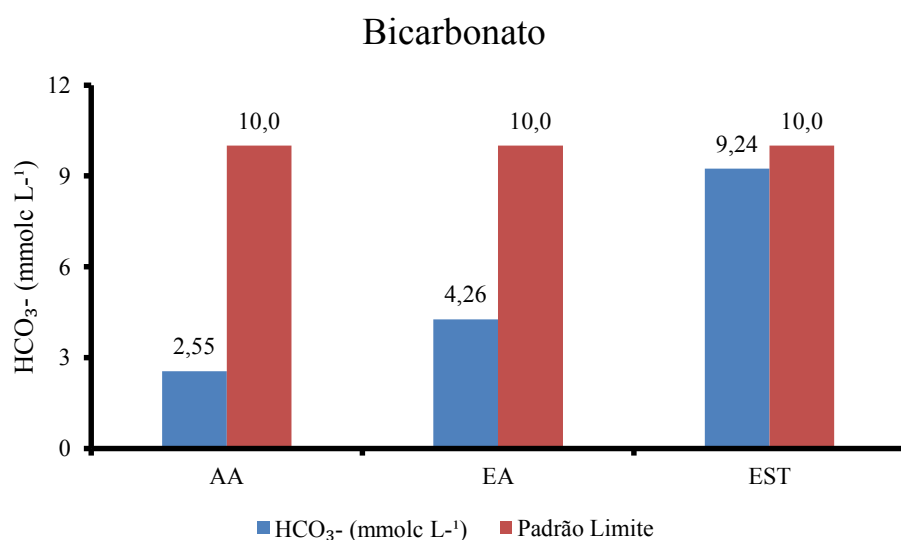
A Figura 9 apresenta os valores de carbonato e bicarbonato presentes nas análises das águas residuárias e de abastecimento.

Figura 9. Análises de carbonato (A) e bicarbonato (B) e os seus respectivos padrões estabelecidos por Almeida (2010) para avaliar a água de irrigação

A



B



Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados de CSR proposto por Eaton (1950)

Tabela 4. Resultados obtidos e o seu padrão para uso na irrigação

Amostras	CSR (mmolc L ⁻¹)	Padrão
AA	-3,19	
EA	-46,4	<1,25 (recomendável) 1,25-2,5 (pouco recomendável) >2,5 (não recomendável) ¹
EST	5,21	

Fonte: Autor (2024). **Legenda:** AA- Água de abastecimento; EA- Efluente de aquicultura; EST- Efluente sanitário tratado; (¹) Almeida (2010), referente à qualidade da água de irrigação.

Com base nesse critério observou-se que o efluente sanitário tratado possui restrição quanto ao uso na irrigação pois possui CRS maior que 2,5 mmolc L⁻¹ podendo acarretar problemas sodicidade no solo. Já o efluente de aquicultura e a água de abastecimento não possuem restrição considerando o CSR, pois o mesmo é menor que 1,25 mmolc L⁻¹.

6. CONCLUSÕES

A água de abastecimento não apresenta restrição quanto ao risco de salinidade do solo, em relação ao risco de infiltração do solo apresenta restrição de ligeira a moderada. Considerando o CSR, o efluente é adequado para uso na irrigação.

O efluente sanitário tratado apresenta restrição de ligeira a moderada quanto ao risco de salinidade do solo, em relação ao risco de infiltração do solo quando se avalia a RAS e CE conjuntamente o mesmo não apresenta restrição. Considerando o CSR, o efluente não é adequado para uso na irrigação.

O efluente de aquicultura apresenta restrição severa quanto ao risco de salinidade do solo, em relação ao risco de infiltração do solo quando se avalia RAS e CE conjuntamente o mesmo não apresenta restrição. Considerando o CSR, o efluente é adequado para uso na irrigação.

Percolado de aterro sanitário apresenta restrição severa quanto ao risco de salinidade do solo, em relação ao risco de infiltração do solo quando se avalia RAS e CE conjuntamente o mesmo não apresenta restrição.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 234p

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2020**. Brasília: ANA, 2020. 118p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017. 1504p.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 225-236, 2011.

BERTOSSI, A. P. A. Influência da aplicação de águas residuárias sobre a infiltração de água no solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 24, 2013.

BEZERRA, D. E. L. *et al.* Reúso de água na irrigação de mudas de mamoeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 5-11, 2019.

BEZERRA, V. G. S. de *et al.* Desempenho de estação de tratamento de esgoto doméstico no semiárido brasileiro e potencial de seu efluente para fins de irrigação. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36159-36174, 2021.

CEARÁ. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. Fortaleza, **Diário Oficial do Estado**, 21 fev. 2017.

CUNHA, A. H. *et al.* O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, 2011.

EATON, F. M. Significance of carbonates in irrigation waters. **Soil science**, v. 69, n. 2, p. 123-134, 1950.

FOSTER, S. S. D.; GALE, I. N.; HESPANHOL, I. **Impacts of wastewater use and disposal on groundwater**. Keyworth: Bgs, 1994.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido Brasileiro**. 2022. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre> > Acesso em: 25/03/2023.

GUIDOLIN, C. **Reúso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2006.s.p.

HESPANHOL, I. *et al.* Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

- HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n.63, p. 131-158, 2008.
- LUCENA, C. Y. de S. *et al.* O reuso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 1-17, 2018.
- MATOS, A. T. **Qualidade do meio físico ambiental**: prática de laboratório. Viçosa: Editora UFV, 2012. 150p.
- MEDEIROS, S. de S. *et al.* Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 603-612, 2005.
- MEDEIROS, D. C. de *et al.* Qualidade de mudas de tomate em função do substrato e irrigação com efluente de piscicultura. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 170-175, 2013.
- OSTER, J. D.; SCHROER, F. W. Infiltration as influenced by irrigation water quality. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 3, p. 444-447, 1979.
- PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 1. Ed. Colombo: Embrapa, 2011. 67p. (Documentos no 232).
- PIZARRO, Fernando. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 1985.
- PORTUGAL - Diretiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de maio de 1991, relativa ao tratamento das águas residuais urbanas. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**, 30 mai. 1991.
- RHOADES, J. D. **Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation**. Reno Nevada: ASCE, 1977. p.85-116.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis improvements of saline and alkaline soils**. Washington: USDA, 1954. 160p.
- SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 45-57, 2006.
- SANTOS, A. da S. *et al.* Importância do reuso de água para irrigação no semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, 2020.
- SILVA, L. M. da *et al.* Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2064-2071, 2014.
- SILVA, S. S. da *et al.* Alocação de fitomassa pela mamoneira sob estresse salino e doses de nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 30, 2013.
- UE – UNIÃO EUROPÉIA. Regulamento (UE) 2020/741 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de maio de 2020, relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água. **Jornal Oficial da União Europeia**, 5 jun. 2020.