



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
DEPARTAMENTO DE CÊNCIAS GEOGRÁFICAS
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

LÍVIA ANDREA FERREIRA DE LIMA SILVA

**Avaliação do potencial biorremediador de *Cladonia substellata* na
modificação de solos em processo de salinização da Ilha de Assunção - PE**

RECIFE

2022

LÍVIA ANDREA FERREIRA DE LIMA SILVA

**Avaliação do potencial biorremediador de *Cladonia substellata* na
modificação de solos em processo de salinização da Ilha de Assunção - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura
em Geografia da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título Licenciada em
Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Andrezza Karla de Oliveira Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva , Lívia Andrea Ferreira de Lima .

Avaliação do potencial biorremediador de *Cladonia substellata* na modificação de solos em processo de salinização da Ilha de Assunção - PE / Lívia Andrea Ferreira de Lima Silva . - Recife, 2022.

62 : il., tab.

Orientador(a): Andrezza Karla de Oliveira Silva

Coorientador(a): Eugênia Cristina Gonçalves Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Licenciatura, 2022.

1. Solo. 2. Desertificação . 3. Meio Ambiente . 4. Caatinga . 5. Educação . I. Silva , Andrezza Karla de Oliveira . (Orientação). II. Pereira , Eugênia Cristina Gonçalves . (Coorientação). IV. Título.

910 CDD (22.ed.)

LÍVIA ANDREA FERREIRA DE LIMA SILVA

**Avaliação do potencial biorremediador de *Cladonia substellata* na
modificação de solos em processo de salinização da Ilha de Assunção - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Licenciatura em
Geografia da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de Licenciada
em Geografia.

Aprovado em: 07/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Andrezza Karla de Oliveira Silva
Universidade Federal de Pernambuco
(Orientadora)

Profa. Dra. Talitha Lucena de Vasconcelos
Universidade Federal de Pernambuco
(Avaliadora interna)

Me. Bruno Fonseca da Silva
Universidade de São Paulo
(Avaliador externo)

A minha mãe, Andrea Ferreira pelo amor, dedicação e apoio durante todos os momentos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente em todos os dias da minha vida, concedendo-me forças nas horas mais difíceis.

À santa Teresinha do Menino Jesus, de quem sou devota e grata pela sua intercessão nos momentos em que recorri ao seu auxílio.

À minha mãe, Andrea Ferreira, por estar junto a mim nos períodos de aflição e alegria, e por me apoiar incondicionalmente nos desafios em que proponho realizar.

Ao meu pai pelos ensinamentos de vida, e por ter promovido condições para que eu realizasse todas as etapas da educação básica e ensino superior.

À toda minha família pela união, carinho e respeito que não me fazem desistir dos meus objetivos.

Ao meu namorado, Fabrício Barbosa, por todo o carinho, paciência, amor e dedicação em me fazer feliz e acreditar que tudo é possível.

À minha orientadora, Profa. Dra. Andrezza Karla, pela dedicação, paciência e afeto, em horas de ensinamentos e contribuições no desenvolvimento da minha formação.

À profa. Dra. Eugênia Pereira pelas oportunidades concedidas durante todo o período acadêmico e o carinho a mim atribuído em suas orientações.

À Juliane Sales pela parceria nas atividades laboratoriais e experiências acadêmicas.

A Ricardo Ferreira por me receber carinhosamente e direcionar minhas pesquisas no Laboratório de Geografia Ambiental – LAGEAM.

Ao LAGEAM e seu integrantes que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação.

Aos amigos que construí durante a graduação, Ícones Geográficos, que me encorajaram durante todo o curso.

Aos membros da banca examinadora, Talitha Lucena e Bruno Fonseca, por receberem carinhosamente o desafio de avaliarem este trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco UFPE, juntamente a todo Departamento de Ciências Geográficas, funcionários e professores, os quais tive a honra de aprender sobre a ciência geográfica com maestria.

A todos o meu muitíssimo obrigada!

RESUMO

A crescente exploração de recursos naturais para o desenvolvimento de atividades agrícolas provoca inúmeros impactos sobre o meio ambiente e aos ecossistemas que o compõe. Na Região Nordeste do Brasil, sobretudo no Bioma Caatinga, o manejo inadequado do solo somado às altas taxas de insolação e baixos volumes pluviométricos, favorecem a ocorrência de processos como o da desertificação, sinalizando para o uso de técnicas que mitiguem suas consequências. Por esta razão, o presente trabalho visou avaliar o ensaio de número seis de Silva (2018), através da determinação dos atributos do solo; estoque de nutrientes (Eca), (EMg), (EK), e (EP); e análise física da amostra de campo com o objetivo de avaliar o potencial biorremediador de *C. substellata* sobre solos em processo de salinização da ilha de Assunção, Cabrobó – PE, além de propor uma atividade didática voltada ao ensino básico no conhecimento do Bioma Caatinga e os impactos a ele relacionado. Os resultados obtidos demonstraram que os solos da área pesquisada foram formados através da deposição sedimentar fluvial, contendo boas reservas nutricionais. Os índices de Na⁺ mostraram-se altos desde a amostra controle, mas apresentaram um decréscimo relevante especialmente com a associação da matéria orgânica ao talo e/ou extrato do líquen sobreposto ao solo. Houve redução da CTC efetiva de todos os ensaios experimentais. Os teores de Ca% e %Mg tiveram um aumento pequeno em tratamentos pontuais, resposta diferente às taxas de %K que aumentaram substancialmente em todo intervalo experimental em relação ao controle de campo. O estoque de nutrientes revelou a diminuição de ECa e EMg em todos os tratamentos, porém houve um aumento abundante nos valores de EK e EP, em especial no tratamento que simulou episódios úmidos com uso da matéria orgânica e talos liquênicos. Diante dos resultados obtidos é possível concluir que *C. substellata* sobreposta a solos salinizados do semiárido pernambucano desempenhou um importante papel na ciclagem de nutrientes e diminuição dos teores de Na⁺, reduzindo dos impactos da salinização. Logo, a utilização de líquens e suas substâncias apresenta-se como mecanismo em potencial na biorremediação de solos em processo de desertificação. Propostas didáticas, voltadas à educação ambiental na compreensão da degradação do bioma Caatinga, são medidas essenciais na formação cidadã dos estudantes para promover a conscientização ambiental dos fenômenos ligados às suas realidades.

Palavras-chave: desertificação; biorremediação; solos; líquens.

ABSTRACT

The increasing on the exploitation of natural resources for the development of agricultural activities causes numerous impacts on the environment and the ecosystems that compose it. In the Northeast Region of Brazil, especially in the Caatinga Biome, inadequate soil management combined with high insolation rates and low rainfall volumes, favor the occurrence of processes such as desertification, signaling the use of techniques that mitigate its consequences. For this reason, the present study aimed to evaluate the test number six by Silva (2018) by carrying out the calculations of soil attributes; nutrient stock (Eca), (EMg), (EK), and (EP); and physical analysis of the field sample with the objective of evaluating the bioremediation potential of *C. substellata* on soils in the process of salinization on Assunção Island, Cabrobó - PE, in addition to proposing a didactic activity aimed at basic education in the knowledge of the Biome Caatinga and the impacts related to it. The obtained results demonstrated that the soils of the researched area were formed through the fluvial sedimentary deposition, containing good nutritional reserves. The Na⁺ indices were high since the control sample, but showed a relevant decrease especially with the association of organic matter to the thallus and/or lichen extract superimposed on the soil. There was a reduction in the effective CTC of all experimental assays. The Ca% and %Mg contents had a small increase in punctual treatments, different response to the %K rates that increased substantially in all experimental interval in relation to the field control. The nutrient stock revealed a decrease in ECa and EMg in all treatments, but there was an abundant increase in EK and EP values, especially in the treatment that simulated wet episodes with the use of organic matter and lichen thallus. In view of the results obtained, it is possible to conclude that *C. substellata* superimposed on salinized soils in the semi-arid region of Pernambuco played an important role in the cycling of nutrients and the decrease in Na⁺ levels, reducing the impacts of salinization. Therefore, the use of lichens and their substances presents itself as a potential mechanism in the bioremediation of soils in the process of desertification. In addition, didactic proposals aimed at environmental education in understanding the degradation of the Caatinga biome are essential measures in the citizenship training of students to promote environmental awareness of the phenomena linked to their realities.

Keywords: desertification; bioremediation; soils; lichens.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Climograma do município de Cabrobó do ano de 2021.....	25
Figura 2 - Mapa de localização da Ilha de Assunção, Cabrobó - PE .	27
Figura 3 - Coleta das amostras de Neossolo Flúvico na Ilha de Assunção, Cabrobó	2929
Figura 4 - <i>Cladonia substellata in natura</i>	2929
Figura 5 - A - Seleção do material para análise física do solo. B - Pesagem da amostra .	31
Figura 6 - Difratorômetro de raios-X, modelo Miniflex da Rigak .	32
Figura 7 - Estoque de Nutrientes do Neossolo Flúvico submetido a talos e/ou extratos de <i>Cladonia substellata</i> ..	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação climática segundo a amplitude da variação do IA	16
Tabela 2 - Análise Física da amostra de campo do Neossolo Flúvico da Ilha de Assunção-PE	33
Tabela 3 - Análise de Difração por raios-X das amostras de Neossolo Flúvico da Ilha de Assunção - PE	34
Tabela 4 - Atributos do solo nos tratamentos de três meses de duração.....	38
Tabela 5 - Tabela 5. Atributos do solo nos tratamentos de seis meses de duração.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo Geral.....	13
1.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Justificativa.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Desertificação no Nordeste Brasileiro	15
2.2 Impactos dos processos agrícolas ao solo frente à desertificação.....	17
2.3 Caracterização dos Neossolos Flúvicos.....	19
2.4 Potencial biorremediador de líquens	20
2.5 Educação ambiental e o bioma Caatinga no ensino básico brasileiro.....	22
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4. METODOLOGIA	27
4.1 Seleção do intervalo experimental de Silva (2018)	27
4.2 Obtenção do extrato etéreo e Matéria Orgânica Silva (2018)	30
4.2.1 Extrato etéreo.....	30
4.2.2 Matéria orgânica.....	30
4.3 Análise Física do solo.....	30
4.4 Determinação dos atributos do solo	31
4.5 Avaliação dos estoques de nutrientes	32
4.6 Difração de Raios - X (DRX) Silva (2018)	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Análise Física do solo coleta de campo	33
5.2 Análise de DRX	34
5.3 Interação dos líquens e suas substâncias sobrepostos ao Neossolo Flúvico da Ilha de Assunção - PE.....	36
5.4 Caatinga e desertificação no ensino	41
5.4.1 Objetivos	42
5.4.2 Materiais.....	42
5.3.4 Procedimentos metodológicos.....	42
6. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A acentuada exploração dos recursos naturais para diversos fins econômicos tem gerado sérias consequências, por vezes irreversíveis ao meio ambiente. No Brasil, com avanço da tecnologia e a expansão de novas culturas, diferentes sistemas agrícolas foram inseridos nos domínios fitogeográficos do país, favorecendo os processos de degradação e desertificação, em consequência do manejo inadequado do solo (SOUZA, 2021).

Na região Nordeste, onde localiza-se exclusivamente o bioma Caatinga, o cenário de degradação é alarmante, visto que 80 % de seus ecossistemas originais já foram alterados, sobretudo por meio de desmatamentos e queimadas. Em consequência, 30,1 % das espécies vegetais que ali encontram-se estão sob ameaça de extinção (BRASIL, 2022). Ademais, análises realizadas de 1985 até o ano de 2020, apontam que 9 % dos municípios que compõem o bioma estão inseridos em Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) (MAPBIOMAS, 2020).

A ilha de Assunção, localizada no município de Cabrobó – PE, é um exemplo da ascendência da degradação ambiental do sertão nordestino provocada pela salinização. A área é povoada pela população indígena Truká, que desenvolve o intenso plantio de culturas, sendo a principal fonte de renda do local. A região está situada em um espaço, onde a taxa de evapotranspiração sobressai a precipitação anual (OLIVEIRA; GOMES FILHO; ENÉAS FILHO, 2010), ocasionando o acúmulo de sais no solo, o que também é intensificado pelos processos agrícolas.

Dessa forma, a fim mitigar os efeitos causados pelo manejo inadequado de solos propensos ao processo de desertificação, medidas tornam-se necessárias para o emprego adequado de práticas, que auxiliem na recuperação dos solos e na manutenção do ecossistema local. Diante disso, a literatura aponta para o uso da biorremediação que consiste na utilização de processo ou atividade biológica por meio de organismos vivos, que possuam a capacidade de modificar ou decompor determinados poluentes, transformando, assim, contaminantes em substâncias inertes (JACQUES, 2010). Em concordância, é interessante destacar a eficácia da utilização dos fungos no processo de biorremediação, devido a sua elevada tolerância a poluentes, facilidade de penetração no solo através de seus micélios (URREA; ROMERA; ARANDA, 2015), capacidade de resistir aos efeitos tóxicos de compostos xenobióticos e, de degradar um grande número de compostos

estruturalmente diferentes de origem orgânica ou inorgânica (TAKAHASHI et al., 2017). Além disso, a biorremediação apresenta-se como uma técnica de baixo custo e de menor impacto ambiental na descontaminação de solos poluídos por pesticidas (RODRIGUES e ZACARIAS, 2021) e, áreas afetadas pela ação natural do ambiente.

Diante das assertivas, estudos demonstram que a utilização de líquens, organismos de associação simbiótica entre fungos e algas e/ou cianobactérias, e suas substâncias, podem promover ação biorremediadora, devido sua capacidade de interação com o solo ou substrato adjacente (SILVA, 2012), sendo também esses organismos excelentes bioindicadores de qualidade do ar, em razão de sua alta sensibilidade à poluição atmosférica (BRAZ, 2020).

Em consonância, estudos de Lima et al. (2020) constataram que o líquen *C. substellata*, em associação ou não com uma fonte exógena de nitrogênio, é capaz, em curto prazo, de alterar quimicamente solos degradados pela salinização, aumentando a biodisponibilidade de elementos essenciais para as plantas e organismos do solo. Silva (2018) também atestou a influência desta espécie sobre Neossolos Quartzarênicos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, a partir de sua interação com a biota, impulsionando a presença de microrganismos.

Além da potencialidade das técnicas de biorremediação com a utilização de líquens sobre solos em processo de salinização, é necessário refletir sobre a conscientização do uso da terra e dos modelos de agricultura desde a educação básica, sobretudo em áreas de intenso cultivo como na Ilha de Assunção - PE.

Neste caso, propostas de intervenção didáticas, que atuem na educação básica e desenvolvam atividades que contribuam no processo de ensino-aprendizagem ativo e consciente devem ser consideradas. Com esse objetivo, tem-se a utilização de atividades experimentais como metodologia moderadora. Essa proposta metodológica consiste em alternativas acessíveis aos professores da rede básica, para facilitar o estudo das temáticas ambientais (PEREIRA e CARACRISTI, 2020, p. 02) como ferramenta relevante para o ensino das diversas vertentes que envolvem a educação ambiental.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar os ensaios conduzidos por Silva (2018) em relação ao desempenho da espécie líquênica *C. substellata* sobre Neossolos Flúvicos da Ilha de Assunção no município de Cabrobó – PE, determinando a capacidade de quelação das

substâncias da espécie e/ou seu extrato, em associação à proposição de práticas educacionais relacionadas ao processo de desertificação no bioma Caatinga.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física do Neossolo Flúvico da ilha de Assunção – Cabrobó PE, para avaliação da granulometria das partículas, grau de floculação, classe textural e umidade residual.
- Determinar os atributos do solo da amostra de campo, e conduzidos aos experimentos de biorremediação, através dos indicadores de %Ca, %Mg, %K e %Na;
- Quantificar o estoque de nutrientes cálcio (Eca), magnésio (EMg), potássio (EK) e fósforo (EP) disponíveis ao solo estudado;

Desenvolver uma proposta didática direcionada ao ensino básico no conhecimento do bioma Caatinga e os impactos causados pelas ações naturais e/ou antrópicas sobre os solos do semiárido pernambucano.

1.3 Justificativa

Visto o cenário de degradação ambiental do bioma Caatinga, e os possíveis impactos que o processo de desertificação pode causar ao ecossistema local e às comunidades adjacentes, fez-se necessário o aprofundamento do estudo anteriormente realizado por Silva (2018) para a obtenção de resultados mais aprofundados, quanto ao potencial biorremediador de líquens e suas substâncias sobre os solos salinizados do semiárido Pernambucano. Além disso, houve a proposição de uma alternativa metodológica para o ensino básico no conhecimento do problema anteriormente mencionado, em contribuição para estudos posteriores que envolvem esta mesma temática, e em auxílio na elaboração de novas propostas sustentáveis para recuperação do bioma Caatinga.

Ademais, a discussão do presente trabalho está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em especial o de número 15 “Vida na Terrestre” que dentre outras metas visa combater a desertificação, reverter a degradação da terra, e a perda de biodiversidade (IPEA, 2018). Para além, associar este e os demais ODS no processo de ensino-aprendizagem contribui também, não só para o cumprimento das metas estipuladas, mas para a construção da conscientização ambiental, a partir do conhecimento das problemáticas ambientais vivenciadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Desertificação no Nordeste Brasileiro

O conceito de desertificação possui uma vasta contribuição na literatura e pode ser entendido como a condição de degradação ambiental causada pelo manejo inadequado dos recursos naturais nos espaços áridos, semiáridos e subúmidos secos, o que compromete os sistemas produtivos das áreas suscetíveis, os serviços ambientais e, a conservação da biodiversidade (BRASIL, 2021). Este processo pode ser influenciado tanto pela condição climática, que tende a transformar uma determinada região em deserto, quanto pela intensificação das ações antrópicas no desenvolvimento de uma nova geodinâmica (VERDUM et al., 2001).

No Brasil, os primeiros trabalhos sobre a temática foram realizados por Vasconcelos Sobrinho que concebeu a desertificação como um processo de fragilidade dos ecossistemas das terras secas em geral, decorrentes da pressão excessiva das populações humanas, perdendo a produtividade e a capacidade de se recuperarem (VASCONCELOS, 1978).

Ab'Saber (1977) também contribuiu no entendimento do conceito estudado e o definiu como processos parciais, pontuais ou areolares, suficientemente radicais para designar degradações irreversíveis da paisagem e dos tecidos ecológicos naturais. O autor ainda considera que as feições deste fenômeno são de fácil reconhecimento, especialmente nas paisagens da região Nordeste do Brasil, onde encontra-se um cenário de déficit hídrico sazonal. Nesse sentido, entende-se que os ambientes atingidos por este processo apresentam cenários de fragilidade ambiental e limitadas condições de autocontrole ou autorrecuperação, frente a instalação de processos transformadores” (SILVA, 2016, p. 604).

Embora haja um certo consenso entre a definição do processo desertificação na literatura, Sales (2002) afirma que as causas relacionadas à problemática geram muitas controvérsias e, que as variações climáticas assumem uma maior responsabilidade frente as atividades antrópicas nos processos de degradação ambiental.

A suscetibilidade à desertificação de uma área é determinada pela Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas - UNCCD, que classifica em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas todas as áreas, com exceção das polares e subpolares, com Índice de Aridez (IA) entre 0,05 e 0,65. Atualmente, o índice de aridez é utilizado

como parâmetro mundial e, é estimado pelo quociente entre a quantidade de precipitação média anual (P) e a perda máxima possível de água por meio da evapotranspiração potencial anual (ETP) (SILVA, 2017). Para uma maior compreensão, a representação das variações climáticas e suas respectivas amplitudes de aridez são representados no (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação climática segundo a amplitude da variação do IA.

Zonas climáticas	Índice de Aridez (IA)
Hiper-árido	< 0,005
Árido	0,05 – 0,20
Semiárido	0,21 – 0,50
Subúmido seco	0,51 – 0,65
Subúmido e úmido	> 0,65

Fonte: BRASIL, 2004.

Em território nacional, dentre os Núcleos de Desertificação inicialmente formulados por Vasconcelos Sobrinho e, presentes no Nordeste brasileiro, está o Núcleo de Cabrobó que compreende os municípios de Cabrobó, Belém de São Francisco, Itacuruba, Carnaubeira da Penha e Floresta (BRASIL, 2007). No município de Cabrobó, o exercício de práticas inadequadas pela agricultura convencional tem causado um processo de degradação ambiental em extensas áreas e, por consequência, a perda da fertilidade e salinização do solo (SILVA e SILVA, 2015).

O impacto da salinização em comunidades agrícolas, como as existentes na ilha de Assunção, pode ocasionar perdas nas lavouras causando prejuízo financeiro às famílias locais que dependem desta atividade para sua sobrevivência (PAES; MOREIRA; ZAPPES, 2018). Além disso, este fenômeno ameaça a manutenção de espécies nativas do bioma a que estejam inseridas, favorecendo a redução da biodiversidade ali encontrada.

A elevada concentração de sais no solo, em especial o cloreto de sódio, é alarmante uma vez que este sal é de difícil metabolização pelas espécies vegetais, assim como os sulfatos, carbonatos, cloretos e bicarbonatos (SANTOS et al., 2010). De acordo com Santos et al. (2018), dentre os efeitos provocados pelo excesso de sais no solo em relação às plantas estão: o efeito osmótico, a plasmólise e a

toxicidade. Estes estão relacionados, respectivamente, à impossibilidade de absorção da água retida no substrato, perda d'água para o solo devido à alta quantidade de sais e, por fim, intoxicação das espécies por consequência da absorção desses componentes químicos.

No bioma Caatinga, embora as espécies vegetais endêmicas apresentem grande resistência à seca devido suas raízes longas e a capacidade de armazenar água durante o período de estiagem (OLIVEIRA et al., 2021), o desmatamento acelerado e a retirada da vegetação nativa podem contribuir para a ascensão de sais no solo, comprometendo a sua conservação e, favorecendo o assoreamento dos corpos d'água, alterações nos padrões de seca e, perda da produção agropecuária (GUILHERMINO et al., 2019).

2.2 Impactos dos processos agrícolas ao solo frente à desertificação

A agricultura está ligada ao exercício de uma atividade econômica, onde realiza-se o cultivo de espécies vegetais destinadas ao consumo humano. O aprimoramento desta técnica ao longo dos anos ampliou a capacidade de produção, permitiu a ampliação da vida natural (FELDENS, 2018), e apoiou o estabelecimento de relações comerciais para além dos mercados internos dos Estados nacionais. Ademais com a evolução técnica, os processos produtivos passaram a utilizar máquinas que substituíram a mão de obra do trabalhador rural, diminuindo o tempo médio de colheitas e, aperfeiçoando os modelos de produção.

A disponibilidade de terras e água, seguida pelo aprimoramento da atividade agrícola, torna o Brasil, no cenário atual, um dos maiores produtores de alimento do mundo (KUPLICH; CAPONE; COSTA, 2018). E, mesmo possuindo uma larga disponibilidade de recursos naturais, os solos brasileiros em sua grande maioria e, em sua forma original, são quimicamente ácidos e deficientes em um ou mais nutrientes essenciais às plantas (BARROS e RIBEIRO, 2021), exigindo o uso de técnicas para correção de suas propriedades e no consequente aumento da biodisponibilidade dos elementos indispensáveis para o desenvolvimento das culturas. Todavia, essa exigência somada aos novos padrões de desenvolvimento industrial e o crescente uso da terra, têm gerado uma série de impactos sobre o solo e sua biota.

Segundo Cooper (2008), a degradação do solo ligada às ações naturais do meio ambiente e intensificadas pela produção agrícola, pode promover uma

instabilidade social e política, reduzir a área de remanescentes florestais, acelerar a exploração de solos frágeis, aumentar a poluição dos mananciais e, emissão de gases que promovem o efeito estufa.

Na região Nordeste brasileira o cenário não é diferente. As condições de irregularidade pluviométrica, intensa irradiação solar e solos marcados por altos índices de salinidade, impulsionam o uso de técnicas para adaptação de novas culturas, aumentando ainda mais os índices de degradação do solo. No município de Cabrobó, por exemplo, a grande parcela de áreas agricultáveis reflete a intensificação dos processos de salinização dos solos da região, além dos processos de erosão como verificado na ilha de Assunção, que sofre com o desmatamento da vegetação nativa para a instalação da agricultura (FONSÊCA et al., 2017).

A Ilha de Assunção é povoada pela População indígena Truká, que tem como principal atividade econômica a agricultura, sobretudo de arroz, cebola e frutas irrigados por tecnologias mais ou menos estruturadas (FLORÊNCIO, 2020). As produções, principalmente de hortifruti, quando não consumidas na região são comercializadas em feiras na área urbana de Cabrobó, ou abastecem os municípios vizinhos (PEREIRA, FLORÊNCIO; SANTOS, 2022).

Apesar da grande importância econômica das práticas agrícolas no município de Cabrobó, sobretudo na ilha de Assunção, a falta de recursos e conhecimento do solo da região aumentam as possibilidades de ocorrência dos processos de salinização, contribuindo para uma provável degradação ambiental. Embora uma das causas da salinização por cultura irrigada seja a utilização das águas salinas, este não é caso do município, uma vez que as águas do São Francisco apresentam baixa salinidade e teor sódico (NUNES et al., 2015). Porém, as altas temperaturas acabam contribuindo para a ocorrência deste fenômeno.

Para obter um resultado que promova uma maior produção agrícola e, reduza seus impactos sobre o material pedogenético, o manejo da irrigação deve priorizar o uso de tecnologias apropriadas, bem como o controle da qualidade e da quantidade de água utilizada (GONÇALVES, 2011). No entanto, em alguns cenários, como na ilha de Assunção, a falta de recursos e conhecimento sobre os atributos do solo, aplicação de lâminas de irrigação de maneira incorreta e, o uso de adubos químicos de forma excessiva, podem comprometer a exploração sustentável dos recursos

naturais (PEDROTTI, 2015), e acabam revertendo o objetivo inicial de favorecer o aumento da fertilidade, implicando na degradação deste material.

2.3 Caracterização dos Neossolos Flúvicos

A classe dos Neossolos Flúvicos é composta por solos minerais não hidromórficos provenientes de sedimentos recentes do período Quaternário. São formados a partir da sobreposição de camadas de sedimentos aluviais, sem que haja relações pedogenéticas entre si. Em função disto, possuem espessura e granulometria variada, ao longo do perfil do solo. Como consequência dessa formação, apresentam ampla variabilidade horizontal e vertical, com decréscimo irregular do teor de carbono em profundidade (DUARTE e CASAGRANDE, 2006). Também são classificados como solos profundos de texturas predominantemente fraco-arenosa, franco-argilosa, argilosiltosa, franca e argilosa. Devido a diversidade do seu material de origem, os Neossolos Flúvicos possuem uma grande variabilidade de suas características químicas, físicas e biológicas e, por esta razão, são normalmente usados para o plantio de cana-de-açúcar, frutíferas e culturas de ciclos curtos (EMBRAPA, 2021).

Normalmente apresentam fertilidade natural média, e uma sequência de horizontes A-C com evidências de gleização em superfície, sendo o horizonte A moderado. Sua topografia de modo geral é plana, ou suavemente ondulada, com limitação nula ou apenas ligeira quanto à erodibilidade (SHINZATO e CARVALHO FILHO 2005).

Segundo o PRONASOLOS Paraná (2019), em decorrência da proximidade com as margens dos rios, os Neossolos Flúvicos cumprem funcionalidades ecológicas importantes, como a de proporcionar estabilidade às coberturas vegetais fluviais e, participar como filtro nas descargas hidrológicas. Sendo assim, essa classe de solos, mesmo contendo em sua estrutura uma alta fração de silte e areia, não apresenta impasses quanto a disponibilidade de nutrientes, devido a sua proximidade com corpos hídricos e, a deposição de materiais de origem orgânica.

No semiárido comumente apresentam o caráter salino, que são as limitações agrícolas mais importantes, além dos riscos de inundação periódica, e restrição de drenagem (MARQUES et al., 2014). Com isso, a deficiência de drenagem e a alta saturação por sódio são fatores de risco para salinização desses solos, se mal manejados (CASTRO e SANTOS, 2019).

2.4 Potencial biorremediador de líquens

A biorremediação constitui-se como uma biotecnologia em potencial, na qual se faz uso de microrganismos ou plantas capazes de degradar bioquimicamente compostos e substâncias contaminantes para a limpeza ou descontaminação de áreas afetadas por poluentes diversos, visando promover a restauração do equilíbrio ecológico do ambiente afetado (SILVA et al., 2016). As técnicas de biorremediação podem ser realizadas *in situ*, quando executadas no próprio local sem que haja remoção de material contaminado, ou *ex situ* quando há a necessidade da retirada de solo ou efluente para serem reabilitados em outro lugar.

A execução de pesquisas voltadas à técnica de biorremediação permite a utilização tanto de microrganismos nativos quanto exóticos e, ainda para acelerar o processo de ação, podem ser adicionados nutrientes que estimulam o crescimento microbiano e a biodegradação do contaminante (MOREIRA e MARQUES, 2020). O auxílio na redução dos impactos promovidos por agentes naturais e/ou antrópicos nos ecossistemas terrestres ou aquáticos, promovidos por esse mecanismo, mostra-se capaz de reduzir os índices de degradação ambiental e, inibir o uso de compostos químicos para a correção de solos e cursos d'água, o que lhe confere a particularidade de propulsor nos estudos ambientais para conservação do meio ambiente com os próprios recursos que a natureza oferece.

Embora muitas outras sejam utilizadas, as principais tecnologias para a biorremediação de solos estão voltadas ao uso de microrganismos vivos, bactérias fungos e enzimas (RODRIGUES e ZACARIAS, 2021). Partindo desse pressuposto é possível listar uma série de características atrativas para a utilização de fungos em processos de biorremediação como a capacidade de crescer em condições de estresse ambiental, mobilidade de colonização de grandes áreas e, o poder de biodegradação fúngico (PEREIRA e FREITAS, 2012).

Por conseguinte, estudos revelam que a biorremediação é uma alternativa promissora para o tratamento de ambientes contaminados por metais pesados, principalmente com uso de bactérias como agentes biorremediadores (SANTOS et al., 2018). Análises também comprovam a eficiência na utilização de microalgas na biorremediação de efluentes, como mostra a pesquisa de Pimenta (2012). O autor verificou a eficácia de *Chlorella vulgaris* na remoção de nitratos e fosfatos na porcentagem de 72,04 % e 76,13 %, respectivamente, presentes em água residual, e 40,22 % na redução de amônia em água natural.

Uma das formas executáveis da biorremediação é a utilização de líquens e suas substâncias. Esses organismos resultam de associação simbiótica entre um fungo e uma alga e/ou cianobactéria, que desempenham papéis complementares, contribuindo com a simbiose (MUNZIN e GOUVEIA, 2018). São capazes de produzir metabólitos secundários que possuem propriedades antifúngicas, antimicrobianas, antivirais, antiparasitárias e antitumorais (BARROS, 2019), além de serem exímios bioindicadores da qualidade do ar, por incorporarem facilmente altos níveis de poluentes (PRESTES e VINCENCI, 2019).

Pesquisas constataam que os líquens possuem a capacidade tanto de inibir, quanto de retardar o intemperismo de superfícies calcárias (DE LA ROSA et al., 2013), através de sua ação alelopática. Esse comportamento auxilia no desenvolvimento de técnicas que contribuem nos estudos da conservação ambiental de uma área ameaçada, ou na diminuição dos impactos causados pela ação de agentes naturais ou antrópicos, fornecendo condições viáveis e sustentáveis para recuperação de áreas degradadas.

Para mais, Silva et al. (2010) também demonstram que a espécie *Cladonia substellata*, quando submetida a diferentes doses radioativas, é induzida a produzir em maior quantidade sua substância fotoprotetora, o ácido úsnico, indicando a modificação de oito minerais distintos no substrato calcário, além da formação de quelatos.

A biorremediação também se mostra como uma alternativa promissora na redução dos índices de salinidade de solos, visto que pesquisas apontaram uma interação entre substâncias líquênicas e Luvisolos salinizados, alterando-os quimicamente (SILVA e PEREIRA, 2010).

A biodisponibilização de nutrientes ao solo, através da utilização de líquens, ainda contribui para o desenvolvimento de espécies vegetais, como evidenciado nos estudos de Machado (2017), que avaliou em ensaio de cultivares a influência da espécie *C. salzmannii* na evolução do gênero *Fragaria* (morangueiro), constatando o aumento de ácido ascórbico e taxa fotossintética da planta, além da diminuição da incidência de fungos. Tigre et al. (2015) também atestaram o potencial bioherbicida de *C. verticillaris* no cultivo de *Lactuca sativa* (alface), onde os fenóis da espécie aceleram o crescimento das raízes e o aumento no número de células e dictiossomos ativos da espécie monitorada. Em concordância, Santiago et al. (2018)

evidenciaram interação de *C. salzmannii* com solos do cerrado, contribuindo significativamente com o crescimento de *Genipa americana*.

Ainda, Figueiredo (2017) verificou que os extratos de *C. verticillaris* foram capazes de biorremediar os Neossolos Flúvicos da ilha de Assunção, em Cabrobó – PE, em relação à recuperação da fertilidade e redução dos índices de sódio. Utilizando a mesma espécie, em adição de diferentes concentrações de ureia, Silva (2011) observou sua interação com a classe de Luvisolo no aumento de Ca^+ e Mg^+ assim como na diminuição de Na^+ .

A compreensão dos estudos mencionados ilustra a desenvoltura dos líquens na modificação química do solo, disponibilizando uma maior quantidade de nutrientes na relação solo/planta, além de permitir melhores respostas no desenvolvimento das espécies.

Assim, as propostas de biorremediação apresentam-se como um sistema de tratamento sustentável e econômico (COPPETI et al., 2022) de ecossistemas degradados, possibilitando a recuperação das áreas afetadas a partir do uso dos próprios recursos naturais disponíveis no meio ambiente. Porém, o processo de biorremediação exige um trabalho colaborativo entre os níveis sociais e culturais, visto que essa é ainda uma alternativa muito nova para a realidade das empresas poluidoras e, da sociedade como um todo (SOARES et al., 2020).

2.5 Educação ambiental e o bioma Caatinga no ensino básico brasileiro

A educação ambiental (EA) está presente nos principais documentos que norteiam os sistemas de ensino brasileiros como a Lei de Diretrizes e Bases (LDB) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Assim, deve ser promovida por todas as áreas de conhecimento, uma vez que segundo o Art. 2º da Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, a educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional. Por isso, deve estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal (BRASIL, 1999).

Além de estar prevista na Constituição de 1988, como garantia de acesso e inclusão, a educação ambiental também compõe os documentos norteadores da educação brasileira como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Na BNCC, documento que orienta a formação dos currículos regionais das instituições

públicas e privadas do país, a educação ambiental é apenas citada enquanto determinadas habilidades ou aprendizagens essenciais sem mencionar o termo Educação Ambiental propriamente dito (BRANCO; ROYER; BRANCO, 2018). Postura diferente dos demais documentos não obrigatórios como os PNCs e DNCs, que concebem o ensino da educação ambiental através da transdisciplinaridade, reforçando a sua prática no ambiente escolar.

O desenvolvimento da Educação Ambiental também pode estar atrelado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que dispõem de 17 objetivos e 169 metas a serem cumpridos até 2030 em prol dentre outras finalidades, da erradicação da pobreza, redução das desigualdades e o uso sustentável dos oceanos e ecossistemas terrestres.

Em meio aos constantes cenários de ataque ao meio ambiente, degradação dos ecossistemas e desmonte das políticas públicas que asseguram a conservação dos recursos naturais, a EA assume um importante papel na defesa e manutenção da biodiversidade. Desse modo, inserir a percepção ambiental no contexto de ensino escolar é de grande importância para que se inicie a tomada de consciência a partir das primeiras etapas da formação do indivíduo (SOUZA et al., 2017).

“A educação ambiental figura como instrumento na promoção do desenvolvimento sustentável, uma vez que, amparada na ética ecológica, gera uma conscientização acerca da preservação do planeta” (NUNES e BANHAL, 2022, p. 1549). Nesse sentido, Grzebieluka et al. (2014) afirmam que a educação ambiental deve possuir um viés crítico que provoque e instigue os alunos a criar uma relação com o seu meio, conscientizando-os para a transformação social. Por isso, as reivindicações e incentivos para a adoção das discussões ambientais cada vez mais efetivas dentro do contexto educacional devem se manter presentes no cotidiano da comunidade escolar e em seus Projetos Políticos Pedagógicos, aliados às necessidades da sociedade e aos impactos causados por ações desmedidas no espaço habitado.

O ensino dos domínios morfoclimáticos brasileiros articulado com os princípios da EA, muitas vezes não ultrapassam os limites da exposição oral, contribuindo para a reprodução de práticas que agravam a degradação do meio ambiente. Com isso, o desenvolvimento de uma educação consciente e emancipadora, que torna o sujeito parte do espaço que ocupa, fica ainda mais distante de um processo de ensino transformador.

Na região Nordeste, o domínio do bioma Caatinga ainda é pouco conhecido entre os estudantes, segundo as pesquisas de Araújo e Sovierzosi. (2016). As autoras alertam toda a comunidade escolar para a utilização de ferramentas que contribuam com o processo de ensino-aprendizagem no conhecimento deste bioma, promovendo, sobretudo, a percepção dos problemas enfrentados pela intensa exploração de seus recursos.

O déficit no ensino dos biomas brasileiros, em especial o da Caatinga, influencia não só na adoção de práticas insustentáveis que podem poluir os mananciais disponíveis, a vegetação nativa e solo da região, mas também na reprodução de um modelo de vida totalmente distante da natureza e de suas transformações, que em um futuro próximo, pode causar impactos irreversíveis ao meio ambiente.

Por isso, procedimentos que insiram e dinamizem esta temática no ensino da educação ambiental em disciplinas como a Geografia ou áreas afins, é de extrema importância no combate à degradação dos recursos naturais disponíveis no planeta, além do conhecimento das dinâmicas que compõem esses sistemas tão complexos e ricos em biodiversidade.

A literatura fornece uma variedade de metodologias para o ensino da educação ambiental, que podem ser repensadas para a compreensão do bioma Caatinga. Dentre essas, estão as atividades experimentais, que permitem a aprendizagem esteja alinhada entre teoria e prática, ressaltando que o aluno é construtor do próprio conhecimento científico, onde interage com suas próprias dúvidas chegando a conclusões consecutivas (SILVA et al., 2020). Além disso, o ensino baseado na experimentação proporciona a valorização dos aspectos sociais e sua relação com os conteúdos programáticos, contribuindo para o aprendizado por investigação e construção de ideias (PEIXOTO et al., 2020).

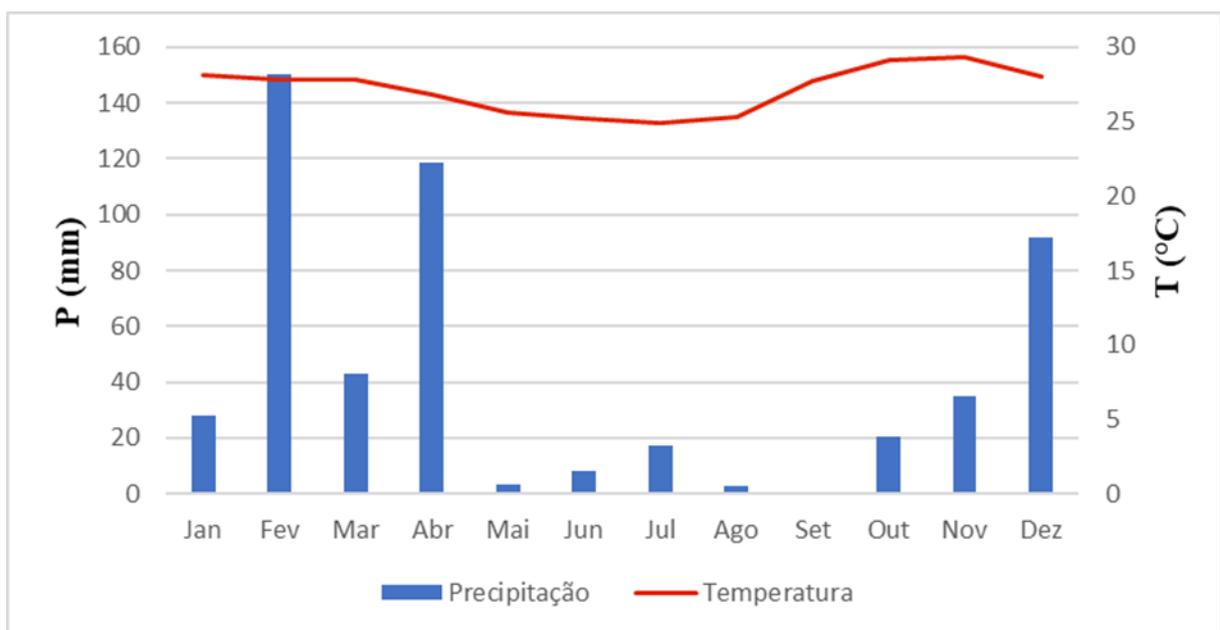
Nesse sentido, a utilização de atividades integrativas que superam os modelos tradicionais de ensino são de extrema importância para o processo educativo, já que associam ações cotidianas e o espaço experimentado na prática pedagógica, favorecendo uma abordagem crítico-reflexiva (BOTÊLHO, SANTOS e SANTOS, 2016) e transformadora para o progresso e evolução social nos modelos sustentáveis.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Cabrobó, localizado no estado de Pernambuco, está inserido na mesorregião do Sertão do São Francisco e, na microrregião de Petrolina. Suas fronteiras estão limitadas pelos municípios de Terra Nova, Salgueiro, Belém do São Francisco, Orocó, Parnamirim, e ao sul com o estado da Bahia. O município conta com uma extensão de 1.658,616 km², e possui 30.294 habitantes segundo o último censo do IBGE de 2022.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é o BShw', onde 67 % do volume pluviométrico ocorre nos primeiros quatro meses do ano (SOARES, 2012), tendo início no mês de dezembro (Figura 1). Também é possível observar que as temperaturas se mantêm elevadas durante todo o ano, influenciando em altos índices de evapotranspiração potencial, déficit hídrico e regime de aridez (LUCENA, 2017).

Figura 1. Climograma do município de Cabrobó do ano de 2021.



Fonte: INMET, 2022. Elaborado pela autora.

Em relação aos aspectos físicos, Cabrobó apresenta um relevo predominantemente aplainado estando inserido na Depressão Sertaneja ao Oeste do Planalto da Borborema. Formações residuais como cristas e *inselbergues*, presentes em alguns pontos da região, indicam ciclos intensos de erosão, que atingiram grande parte do sertão nordestino (ANGELIN e KOSIN, 2000; CPRM, 2005).

A rede de drenagem do município é composta pela Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e por um grupo de bacias de pequenos rios interiores, sendo o principal corpo de acumulação, o açude Barra do Chapéu. Os cursos d'água possuem um padrão dendrítico, tendo predomínio de rios intermitentes de baixa ordem, que drenam ora diretamente para o rio São Francisco, ora para o riacho Terra Nova (FONSÊCA et al., 2017).

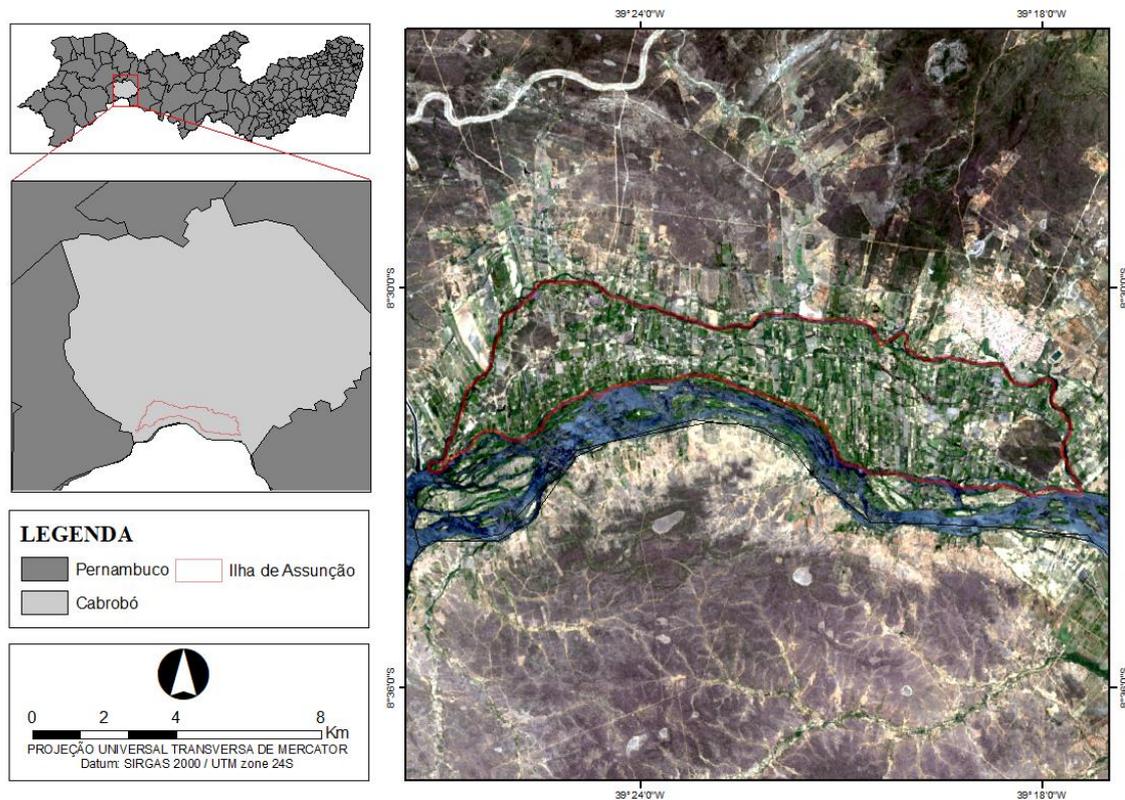
O município também está inserido no núcleo de desertificação homônimo, segundo o Atlas de Áreas Susceptíveis à Desertificação (BRASIL, 2007), o que favorece a ocorrência de solos rasos, com baixa drenagem e altos teores de sais em sua composição. Segundo Sá et al. (2006) nas áreas suscetíveis à desertificação encontram-se os Planossolos, Luvisolos e Neossolos Litólicos, que apresentam um baixo grau de desenvolvimento pedogenético, além da presença dos Neossolos Flúvicos da Ilha de Assunção.

A vegetação é marcada pela caatinga hiperxerófila, caracterizada pela ocorrência de baixos índices pluviométricos, temperaturas elevadas, além de solos rasos e pedregosos (MARIANO NETO, 2001). O domínio do bioma Caatinga, além de ser caracterizado pela vasta extensão de espécies vegetais endêmicas, também apresenta aspecto sazonal com presença de árvores baixas e arbustos amplamente ramificados, frequentemente armados com espinhos ou acúleos, entremeados com plantas suculentas e, um estrato herbáceo formado por plantas anuais, bromélias terrestres e cactos rasteiros (FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

O território do município de Cabrobó ainda é composto por uma ilha de deposição fluvial, localizada no submédio do rio São Francisco. A ilha de Assunção está localizada nas coordenadas de a 8 ° 32' 45" e 8° 33' 02" S e 39° 17' 24" W, com uma altitude aproximada de 324 m (Figura 2).

A vegetação é igualmente caracterizada pelo domínio da caatinga hiperxerófila que embora seu potencial econômico, social e medicinal seja, por vezes, desconhecido, possuem finalidades terapêuticas (GOMES et al., 2008), paisagísticas (BECKMANN, 2017), antimicrobianas (MESQUITA et al., 2017), medicinais (SÁ-FILHO et al., 2021) e energéticas (BENDINI, 2022).

Figura 2. Mapa de localização da ilha de Assunção, Cabrobó - PE.



Fonte: A autora, 2022.

O clima da região é o semiárido com precipitações anuais de 350 a 600 mm. A ilha é povoada pela comunidade indígena Truká e dispõe de culturas agrícolas voltadas, majoritariamente à fruticultura irrigada e piscicultura (FIGUEIREDO, 2017).

O solo da região da ilha de Assunção é predominantemente composto pela formação de Neossolos Flúvicos característicos de ambientes de várzea, formados da alteração de deposições fluviais recentes não consolidadas do Holoceno, cuja natureza, granulometria e composição são heterogêneas, sendo encontrados sedimentos argilossiltosos, siltosos e arenosos (SANTANA, 2015). De acordo com a EMBRAPA (2006), os Neossolos Flúvicos são solos desenvolvidos de sedimentos recentes, geralmente de origem fluvial, constituído de classes texturais distintas.

4. METODOLOGIA

4.1 Seleção do intervalo experimental de Silva (2018)

A partir dos resultados obtidos por Silva (2018), que em sua pesquisa realizou seis experimentos laboratoriais com o objetivo de avaliar a capacidade remediadora da espécie *C. substellata* sobreposta aos Neossolos Flúvicos do semiárido nordestino, foi selecionado para análise no presente trabalho o experimento de número seis devido seu excelente desempenho na disponibilidade de nutrientes e redução de sódio contidos no solo.

O intervalo experimental escolhido foi disposto da seguinte forma: T- 6.1) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* em condições de pó (0,1875 g); (T- 6.2) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e talos liquênicos (12 g) umedecido com 3 mL de água deionizada. Já tratamentos simulando intervalo úmido foram delineados deste modo: (T- 6.3) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* em condições de pó (0,1875 g), sendo umedecido com 50 mL de água deionizada; (T- 6.4) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* (0,1875 g) diluído em uma solução de DMSO (42%) e em 48 mL de água deionizada; (T- 6.5) – Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e talos liquênicos (12 g) hidratado com 6 mL de água deionizada.

Para a composição dos ensaios, Silva (2018) coletou as amostras de solo no município de Cabrobó – PE, na região da Ilha de Assunção nas coordenadas de 8° 30' 51" S, 39° 18' 36" W (Figura 3). O material pedológico foi recolhido em uma área de 1 ha, de forma aleatória com amostras de 5 kg cada, a 20 cm de profundidade seguindo os parâmetros do Manual de coleta de Solos da EMBRAPA (EMBRAPA, 2017). Posteriormente as amostras foram embaladas em sacos plásticos e conduzidas ao Laboratório de Geografia Ambiental – LAGEAM, para limpeza e uniformização de partículas, para então serem encaminhadas à experimentação.

Da mesma forma, os líquens da espécie *C. substellata* foram coletados em sua área de ocorrência no município de Mamanguape – PB, próximo a Reserva Guaribas em uma altitude aproximada de 181m (Figura 4). As amostras foram embaladas em caixas de papelão e encaminhadas ao laboratório para a secagem em temperatura ambiente ($28 \pm 3^{\circ}\text{C}$). Em seguida, o material liquênico foi limpo, pesado e separado para montagem dos experimentos.

Figura 3. Coleta das amostras de Neossolo Flúvico na Ilha de Assunção, Cabrobó.



Fonte: Victor Pina, 2015.

Figura 4. *Cladonia substellata* in natura.



Fonte: E. Pereira, 2022.

4.2 Obtenção do extrato etéreo e Matéria Orgânica Silva (2018)

4.2.1 Extrato etéreo

Para a obtenção do extrato etéreo de *C. substellata* Silva (2018) selecionou 20 g do talo liquênico limpo e seco. Posteriormente o material foi macerado em almofariz até a formação de um pó, e depositado em 60 mL de éter etílico em erlenmeyer. Em seguida, o material foi conduzido à mesa agitadora por 1 h em temperatura ambiente de $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após o tempo de repouso, o extrato foi filtrado em papel filtro e levado em um balão de fundo redondo para seu aquecimento. O balão conectado a um aparelho rotaevaporador, permaneceu em banho maria a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a evaporação do solvente, segundo Martins et al. (2010), e por fim os extratos foram raspados e transferidos para tubos de penicilina.

4.2.2 Matéria orgânica

Para a aquisição da matéria orgânica foram construídos biodecompositores orgânicos utilizando quatro baldes de plástico de 15 kg cada, encaixados um dentro do outro, estando o primeiro com uma abertura de saída para liberação dos gases provenientes do processo de decomposição. Em cada balde foram depositados resíduos orgânicos como cascas de frutas, legumes, verduras e folhas, intercalados com uma camada de pó de madeira. Após, aproximadamente, quatro meses se obteve o material orgânico escuro.

4.3 Análise Física do solo

A análise física foi elaborada a partir da seleção e peneiramento de 400 g de amostras de solo coletados no mesmo local e parâmetros de Silva (2018), que posteriormente foram conduzidas ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (Figura 5). A fração de silte e areia foi determinada pela distinção entre as partículas, a partir do peneiramento (0,05 – 0,0002 mm). Já a densidade (g cm^3) foi estabelecida através da massa da amostra e seu volume, obtida através da metodologia do anel volumétrico (GROSSMAN e REINSCH, 2002). Em seguida a determinação da fração de argila foi obtida através do método da pipeta (<0,002 mm). Após essas análises, o Grau de Floclulação e a Classe Textual foram calculados, bem como a umidade residual foi obtida pela diferença da massa residual de água (TEIXEIRA et al., 2017).

Os resultados adquiridos a partir do experimento seis de Silva (2018) forneceram subsídios para a realização dos cálculos de atributos do solo, estoque de nutrientes e análise de Difração de Raios - X (DRX), elaborados para a composição dos resultados da presente pesquisa.

Figura 6. A- Seleção do material para análise física do solo. B – Pesagem da amostra.



Fonte: a autora, 2021.

4.4 Determinação dos atributos do solo

A partir dos dados dos elementos químicos quantificados antes e após o experimento da autora estudada, os atributos do solo foram calculados através da avaliação dos parâmetros determinados por meio das equações:

$$\text{CTCefetiva} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Al}^{3+}) \quad (1)$$

$$\% \text{Ca}^{2+} - (100 \times \text{teor de Ca}^{2+} / \text{CTC}) \quad (2)$$

$$\% \text{Mg}^{2+} - (100 \times \text{teor de Mg}^{2+} / \text{CTC}) \quad (3)$$

$$\% \text{K}^{+} - (100 \times \text{teor de K}^{+} / \text{CTC}) \quad (4)$$

$$\% \text{Na}^{+} - (100 \times \text{teor de Na}^{+} / \text{CTC}) \quad (5)$$

4.5 Avaliação dos estoques de nutrientes

Posteriormente à caracterização física e química do solo, foram determinados os estoques dos nutrientes dos elementos cálcio (ECa), magnésio (EMg), potássio (EK) e fósforo (EP), calculados segundo a equação de Ellert e Bettany (1995):

$$EE = CE \times Ds \times E \times 10.$$

Sendo: EE = estoque do elemento químico (kg ha); CE = teor do elemento químico no solo (mg kg); Ds = densidade do solo (mg m); E = espessura da camada (m).

4.6 Difração de Raios - X (DRX) Silva (2018)

A análise mineralógica do solo por Difratomia de Raios – X é realizada a partir das frações de argila (< 0,002 mm) e silte (0,002 mm - 0,050 mm) e consiste na caracterização mineralógica dos argilominerais e outros constituintes cristalinos presentes nas frações granulométricas mais finas dos solos (EMBRAPA, 2017). Para isso, porções analíticas de 1g de solo foram encaminhadas para análise de DRX no Instituto Nacional do Semiárido (INSA). O equipamento utilizado para esta análise é Miniflex da empresa Rigaku capaz de quantificar os raios -X característicos das amostras.

Figura 9. Difrátômetro de raios-X, modelo Miniflex da Rigak.



Fonte: Gilson Gregoris, 2017.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Física do solo coleta de campo

Após a realização da análise física do Neossolo Flúvico e a obtenção dos respectivos resultados utilizou-se o Guia Prático para Interpretação de Resultados e Análises do Solo (SOBRAL et al., 2015) e, o Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA et al., 2017) como parâmetros para a realização da discussão do trabalho aqui desenvolvido.

Mediante a aquisição dos dados ilustrados na (Tabela 2), não foi possível obter os índices de porosidade e das frações de calhaus, cascalhos e terra fina. No entanto, o resultado evidencia um solo de composição granulométricas mais finas, e de material pouco pedregoso e mais homogêneo, indicando a predominância de areia ou partículas ainda menores.

Tabela 2. Análise Física da amostra de campo do Neossolo Flúvico da Ilha de Assunção-PE.

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)		Composição Granulométrica (%)				Água Disponível		Argila Natural (%)	Grau de Flocculação (%)	Classe Textural
	Dap	Dr	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(%)	(mm/cm)			
Residual	1.36	2.59	24	30	29	17	11.28	1.53	8	53	FA
1.70	1.36	2.59	24	30	29	17	11.28	1.53	8	53	FA

Fonte: IPA, 2022. Elaborado pela autora.

Em relação a densidade, a média entre seus valores apresentou um bom resultado, já que o índice de densidade aparente da amostra é baixo e indica que o solo contém uma menor porosidade e compactação. Essa condição está relacionada à predominância das frações areia e silte, visto que frações mais grossas implicam em redução na capacidade de armazenamento de água e de CO₂, além do aumento da densidade do solo (ARAÚJO FILHO et al., 2022).

No que diz respeito a composição granulométrica, é possível observar que o solo da região possui valores muito similares em relação a porcentagem de areia, silte e argila, resultando na classificação textural franco-arenosa. A predominância de areia nas granulometrias do material pedogenético é consequência da derivação de sedimentos aluviais, um fato característico da área estudada, em função das suas localizações nas partes mais baixas de bacias hidrográficas (ALMEIDA et al., 2020).

Através da argila dispersa em água foi possível calcular o grau de floculação que permite estimar a porcentagem de argila no solo que está agregada, ou seja, floculada. Seus valores indicam o grau de estabilidade dos agregados do solo de menos para mais estável. Logo, pode-se afirmar que a amostra apresenta um grau de estabilidade médio posto que seu índice possui 53% de GF. Embora este índice ainda seja atrativo para o desenvolvimento de espécies vegetais, sua redução em solos de regiões semiáridas pode ser atribuída à influência de fatores naturais e através do manejo agrícola, que leva a diminuição do conteúdo de matéria orgânica sobretudo em áreas agricultáveis (ARCOVERDE; CORTEZ; PEREIRA, 2018).

Os valores de água disponíveis ao solo mostraram-se baixos, apesar da proximidade com corpos d'água. Porém o clima árido e o intenso plantio de culturas sem a aplicação de técnicas de pousio ou rotação, podem interferir na água disponível em consequência da absorção dos cultivares, das altas temperaturas e dos prováveis índices de salinização. A menor quantidade de água ao solo também pode estar relacionada a uma maior porção de areia, principalmente em sua fração grosseira, que favorece maior aeração do solo, porém reduz a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água às plantas, ocasionando déficit hídrico no período de estiagem (SILVA et al., 2021).

5.2 Análise de DRX

Em relação a análise de difração por raios-X representada pela (Tabela 3), os valores predominantes de SiO_2 atestam novamente a presença relevante do material de origem da rocha desagregada, e da sedimentação deste material em um ambiente aluvial. O Si apresenta-se de forma abundante na crosta terrestre e está presente na maioria dos solos na forma de óxido de silício, podendo influenciar no desenvolvimento das plantas, sobretudo das gramíneas (MENECALE, CASTRO e MANCUSO, 2015).

Com números ainda significativos entre os demais elementos, tem-se o óxido de alumínio (Al_2O_3) que pode ser preocupante para agricultura e vegetações nativas uma vez que o Al^{3+} tende a ser liberado causando toxicidade às plantas, principalmente em condições em que o solo apresenta acidificação (GOMES et al., 2018).

Tabela 4. Análise de Difração por raios-X das amostras de Neossolo Flúvico da Ilha de Assunção - PE.

Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	ZrO ₂	SO ₃	CeO ₂	SrO	BaO	Cl
----- % -----																
AS	64,85	12,49	0,71	3,50	1,35	4,70	0,31	3,48	0,09	1,11	0,09	5,01	-	-	-	2,10

Fonte: INSA, 2018. Elaborado por Silva (2018).

O óxido de sódio também se demonstra em evidência, embora em menor quantidade, se comparado aos demais elementos. Segundo Sobral (2015), os teores de sódio nos solos da região semiárida são mais altos em função da presença de minerais primários e, ao baixo intemperismo químico, o que favorece a concentração de sais no solo, influenciando em alguns casos na desertificação de áreas agricultáveis ou não. Desse modo, a presença de sódio nos solos deve ser avaliada periodicamente, já que situações de grande volume deste elemento podem afetar tanto na estabilidade estrutural do solo, quanto apresentarem efeitos tóxicos às plantas (JESUS e BORGES, 2020).

Evidencia-se ainda o MgO, que possui uma relação benéfica com o sistema solo/planta atuando na síntese de compostos orgânicos, clorofila e fotossíntese dos vegetais e em seu sistema respiratório (MALAVOLTA, 2006).

Dentre os elementos destacados tem-se o trióxido de enxofre (SO₃). Este composto químico, assim como o dióxido de silício, possui diversas formas na natureza, e é essencial ao desenvolvimento e à qualidade das plantas, uma vez que absorvem o enxofre do solo como íon sulfato e, algumas bactérias utilizam o sulfeto de hidrogênio da água como doadores de elétrons num processo similar a uma fotossíntese primitiva (GIRACCA e NUNES 2016).

Embora os resultados encontrados evidenciem alguns valores de elementos que podem ser tóxicos às plantas, é notável que ainda sim a amostra de solo apresenta boas respostas em relação a disponibilidade de elementos químicos necessários para o desenvolvimento de culturas, sobretudo as de ciclo curto, uma vez que há menos riscos da provável saturação do solo. Porém, deve-se atender para seu uso consciente, em especial quando os Neossolos Flúvicos estão localizados em regiões semiáridas com propensão à desertificação.

5.3 Interação dos líquens e suas substâncias sobrepostos ao Neossolo Flúvico da ilha de Assunção - PE

Frente aos dados dos elementos químicos disponíveis ao solo no tratamento seis elaborado pela autora estudada, foi possível obter através dos cálculos previstos, os atributos do solo. O conhecimento dos atributos químicos do solo permite uma maior compreensão da dinâmica da ciclagem de nutrientes no sistema solo-plantas, viabilizando ações que concedem o aumento do rendimento agrícola (SANTOS, 2010) e, identifiquem substâncias que causem um efeito adverso ao solo e à vegetação a ele sobreposta.

No que diz respeito aos índices de CTC, observou-se altos valores da coleta de campo, evidenciando uma boa fertilidade, já que os Neossolos Flúvicos são considerados solos eutróficos, bastante utilizados para fins agrícolas (CUNHA et al., 2010). Entretanto, durante o período experimental todos os tratamentos apresentaram um decréscimo na CTC do solo. Essa condição também foi manifestada nas demais seções laboratoriais da mesma autora. Isto pode indicar a hipótese de que a diminuição da CTC efetiva, sobretudo do T6 pode ter sido provocada pela queda dos elementos Ca^+ e Mg^+ , sobretudo dos teores de Mg^+ em grande parte dos tratamentos experimentais. Em estudos similares com o uso de espécie *C. verticillaris*, foi observado que um único tratamento dos ensaios de Figueiredo (2017) conseguiu um aumento ainda que pequeno dos valores de CTC em relação a amostra controle, no período de seis meses, recebendo menor concentração de extrato orgânico em pó da espécie sobre solos em processo de salinização. Dessa forma também pode-se considerar que o estresse causado ao solo em ambientes laboratoriais, ou o tempo insuficiente de análise da amostra foram fatores condicionantes para a obtenção deste resultado.

Ainda em relação aos atributos do solo os tratamentos que obtiveram mais êxito durante o período experimental foram 6.3 (6 meses) e 6.5 (3 e 6 meses) quanto o aumento de cálcio. Vê-se que a associação do extrato etéreo em pó acrescido de matéria orgânica, bem como a simulação de episódios de umidade demonstrou melhores resultados no aumento dos índices nutricionais deste elemento. Obtendo resultados aproximados, Silva (2011) constatou o aumento de Ca^+ em Luvisolo salinizado ou não, através da ação da espécie *C. verticillaris* influenciada pela adição da ureia. Ademais, esse comportamento deve-se ao fato que a simulação de um ambiente úmido pode beneficiar o incremento dos elementos essenciais ao solo,

auxiliando em uma maior percolação das substâncias presentes em sua camada superficial, criando um ambiente mais favorável para o desenvolvimento e multiplicação de microrganismos benéficos (PINTO, 2020). Porém, de maneira controversa, os tratamentos 6.1 e 6.2 em ambos intervalos de meses apresentaram queda em relação aos valores de %Ca. Silva (2019) avaliou resultado parecido na diminuição linear deste elemento aos 60 e 90 dias de experimentação em composteira, após inserção de material acrescido de resíduos orgânicos.

Em oposição aos resultados de %Ca, o único tratamento que apresentou acréscimo no valores de %Mg foi o 6.1 (6 meses), enquanto seu menor valor foi observado no 6.5 (6 meses). Ainda não obtendo resultados satisfatórios nas demais amostras experimentais, é observado mais uma vez que as melhores respostas estão associadas a adição do extrato liquênico em forma de pó e, que essa ação pode ser melhorada por meio de outros fatores exógenos como a matéria orgânica. Em concordância, Silva e Pereira (2012) atestaram que o líquen *C. verticillaris*, em associação de ureia e radiação UVB, foi capaz de proporcionar modificações químicas ao solo, em especial no acréscimo de cálcio e magnésio.

Assim como os demais ensaios realizados por Silva (2018) que receberam matéria orgânica e seus subprodutos, todas as amostras experimentais do T6 aumentaram os valores de %K em relação a amostra controle. A liberação de K^+ das formas não trocáveis, assim como seu equilíbrio no solo, é influenciada por diversos fatores, e dentre eles está a atividade biológica (KASEKER et al., 2022), que auxilia a deposição de potássio ao solo através da decomposição por microrganismos (COLA e SIMÃO, 2012). Sua liberação também pode ocorrer através da decomposição de minerais silicatados (HUNGRIA; URQUIAGA, 1992). Observa-se que a matéria orgânica foi um importante fator contribuinte para o resultado obtido. O aumento nos teores dos macronutrientes, a partir da adição de matéria orgânica, em especial o K, reforça a importância da sua utilização para a contribuição do potencial produtivo dos solos brasileiros, pois auxilia na melhoria das suas características físicas, químicas e biológicas (CARVALHO et al., 2021).

O interesse da adição deste elemento ao solo explica-se pelo papel crucial em vários processos fisiológicos que alteram o crescimento e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (CAVALCANTE et al., 2019), contribuindo com a formação e o amadurecimento dos frutos, aumento na rigidez dos tecidos e a

resistência das plantas às pragas e doenças, além do favorecimento no crescimento do sistema radicular (BARROS, 2020).

Quanto aos índices de %Na no solo obteve-se diminuição de todos os tratamentos comparados a amostra de campo, com destaque para os ensaios 6.3 (6 meses) e 6.4 (6 meses). Dessa forma, constata-se a eficácia não só dos compostos orgânicos, mas também da atuação da espécie liquênica *C. substellata* onde a mesma autora aqui avaliada atestou seu potencial biorremediador em Neossolos flúvicos salinizados, em ensaios laboratoriais (SILVA, 2018).

Para mais, vê-se ainda que de modo geral as melhores respostas concentram-se no intervalo de seis meses, sendo o tempo um outro fator de destaque quanto os ensaios de biorremediação.

É possível ainda argumentar relativo aos atributos do solo, que mesmo com os números elevados de sódio, o solo da região apresenta uma boa fertilidade desde a amostra de campo, e nesse sentido o desenvolvimento radicular das espécies vegetais irá depender da tolerância das culturas à salinidade ou do suporte ao estresse salino da vegetação endêmica dos espaços que possuem essa mesma condição de semiaridez.

Tabela 5. Atributos do solo nos tratamentos de três meses de duração.

	Amostras	CTC	%Ca	%Mg	%K	%Na
		EFETIVA				
03 meses	Controle	53,1	52	16,9	0,7	30,1
	T-6.1	35,2	46	20,5	8,7	24,1
	T-6.2	33,1	51	13,7	9,5	24,4
	T-6.3	31,4	52	12,9	8,3	16,0
	T-6.4	31,8	52	14,6	7,6	15,2
	T-6.5	33,7	54	9,7	8,5	26,4

Tabela 6. Atributos do solo nos tratamentos de seis meses de duração.

	Amostras	CTC EFETIVA	%Ca	%Mg	%K	%Na
06 meses	T-6.1	36,1	34	28,1	9,9	27,6
	T-6.2	35,8	49,5	12,8	9,4	27,8
	T-6.3	20,8	54,8	14,6	9,6	7,9
	T-6.4	23,9	48,8	14,9	6,6	7,3
	T-6.5	35,5	53,7	7,5	10,0	28,0

Legenda: (T- 6.1) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* em condições de pó (0,1875 g); (T- 6.2) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e talos líquênicos (12 g) umedecido com 3 mL de água deionizada. (T- 6.3) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* em condições de pó (0,1875 g), sendo umedecido com 50 mL de água deionizada; (T- 6.4) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* (0,1875 g) diluído em uma solução de DMSO (42%) e em 48 mL de água deionizada; (T- 6.5) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e talos líquênicos (12 g) hidratado com 6 mL de água deionizada.

Além dos atributos químicos do solo estudados através das amostras de campo e laboratoriais, observou-se a necessidade de determinar os estoques de nutrientes através dos elementos EK, EMg, ECa e EP (Figura 7). O volume de elementos disponíveis no solo e requeridos pelas plantas é essencial para o entendimento da dinâmica de ciclagem e nutrientes, além de contribuir para o monitoramento da fertilidade em pequenos e grandes sistemas de cultivo na prevenção de maiores impactos, como o processo de salinização.

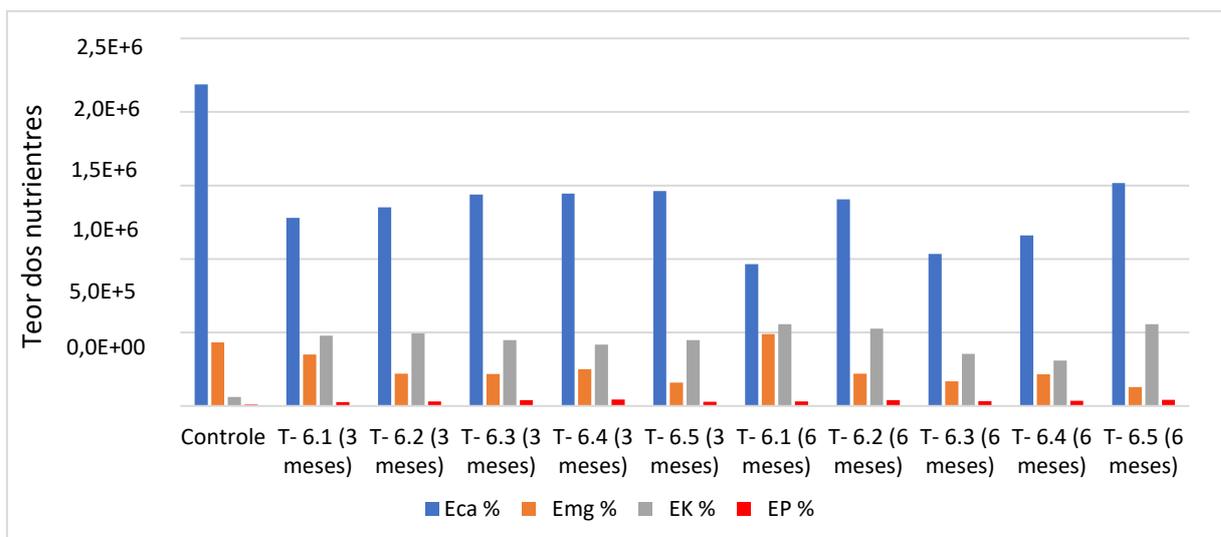
Vê-se inicialmente que o tratamento apresenta decréscimo nos estoques de ECa em todo o período experimental em relação a amostra controle, sobretudo no intervalo 6.1 (6 meses). Esse mesmo comportamento foi observado com as taxas de EMg, com exceção do mesmo tratamento e intervalo experimental. A diminuição desses elementos e, em consequência da CTC, também foi evidenciado no trabalho de Silva (2018) utilizando o líquen *C. substellata* em experimentos com Neossolos Quartzarênicos, associando este fato à percolação dos fenóis do líquen, bem como a lavagem do solo, que culminou na diminuição de suas bases e valores de CTC.

Contrariamente aos resultados anteriores, os níveis de EK e EP apresentaram um aumento abundante, essencialmente no intervalo de 6.5 (6 meses) com a associação de matéria orgânica, talos líquênicos e simulação de episódios úmidos.

EK teve uma maior disponibilidade nos tratamentos 6.1 e 6.5 ambos de seis meses de duração. E em EP evidencia-se melhor desenvoltura nos experimentos 6.4 (3 meses) e 6.5 (6 meses). O aumento significativo dos teores de fósforo nos tratamentos pode estar ligado ao fato de que o nutriente realiza ligação orgânica com a matéria orgânica (WOICIECHOWSKI,2018) acrescida nos ensaios laboratoriais. Além disso, estudos de Lima et al. (2020) evidenciaram a eficiência de *C. substellata*, associada ou não à fonte exógena de nitrogênio, propiciando aumento significativo dos elementos Ca, Mg, P em Neossolos Flúvicos salinizados. O acréscimo de fósforo nos estudos de biorremediação liquênica é essencialmente relevante para os solos brasileiros, já que em sua grande parcela são deficientes deste material, exigindo o uso de fertilizantes químicos (EMBRAPA, 2021) aplicados, muitas vezes, de maneira desordenada, comprometendo sua biota.

Por fim, também é considerável a atuação da matéria orgânica, principalmente no aumento dos valores de K^+ nas duas análises de quantificação dos elementos químicos, sendo uma excelente aliada no aumento de macronutrientes, comprovado pelos estudos de Gomes et al. (2005), onde a adubação orgânica proporcionou o aumento nos níveis de carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio e fósforo ao solo.

Figura 10. Estoque de Nutrientes do Neossolo Flúvico submetido a talos e/ou extratos de *Cladonia substellata*.



Legenda: (T- 6.1) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* em condições de pó (0,1875 g); (T- 6.2) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e talos liquênicos (12 g) umedecido com 3 mL de água deionizada. (T- 6.3)

Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* em condições de pó (0,1875 g), sendo umedecido com 50 mL de água deionizada; (T- 6.4) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e extrato etéreo de *C. substellata* (0,1875 g) diluído em uma solução de DMSO (42%) e em 48 mL de água deionizada; (T- 6.5) Neossolo Flúvico salinizado associado com matéria orgânica e talos liquênicos (12 g) hidratado com 6 mL de água deionizada.

5.4 Caatinga e desertificação no ensino

Visto o cenário de degradação ambiental e a emergência de ações que conscientizem a sociedade sobre o uso responsável do solo e incentivem o conhecimento do bioma em que estejam inseridos, tornou-se necessária a elaboração de uma proposta didática para a atuação no ensino básico fundamental sobre o entendimento do bioma Caatinga e o crescente processo de desertificação, que o atinge.

Tendo como base os estudos de Guimarães e Santos (2011) e Yoshioka e Lima (2021), a proposta de ensaios experimentais é direcionada aos estudantes da rede básica de ensino, inseridos no 7º ano do nível fundamental, como previsto na BNCC e no Currículo do Estado de Pernambuco.

De acordo com o Currículo de Pernambuco (2019), o conhecimento do bioma Caatinga está inserido na Unidade Temática “Natureza, ambientes e qualidade de vida” e, o objetivo do conhecimento previsto por este mesmo documento é a “Biodiversidade Brasileira”. Ainda, as habilidades a serem atingidas visam: “(EF07GE11PE) Caracterizar e compreender as dinâmicas dos diferentes componentes físico-naturais no território nacional, bem como os principais impactos causados pelas ações antrópicas, sua distribuição e biodiversidade (Florestas Tropicais, Cerrados, Caatingas, Mata de Cocais, Complexo do Pantanal, Mangues, Campos Sulinos e Matas de Araucária) e a questão ambiental, contribuindo para o entendimento das diferentes paisagens existentes no Brasil”.

Obedecendo ainda os parâmetros reguladores da educação brasileira, o experimento proposto também está alinhado com as competências específicas para o ensino fundamental de número um que objetiva: “Utilizar os conhecimentos geográficos para entender a interação sociedade/ natureza e, exercitar o interesse e o espírito de investigação e de resolução de problemas” (BRASIL, 2018), permitindo a reflexão entre ação naturais e humanas na modificação do meio ambiente.

5.4.1 Objetivos

O objetivo geral da atividade experimental é o de avaliar a ação do processo de salinização do solo a partir desenvolvimento das plântulas de feijão, em comparação aos efeitos do processo de desertificação no bioma Caatinga.

Como objetivos específicos tem-se:

- Discutir sobre a biodiversidade e ocorrência do bioma caatinga;
- Demonstrar a relação da salinidade e do desenvolvimento da vegetação nativa do bioma;
- Refletir sobre as condições climáticas e ações antrópicas, em especial a agricultura, que favorecem o fenômeno da desertificação;
- Pensar sobre medidas sustentáveis para a preservação do solo e vegetação endêmica.
-

5.4.2 Materiais

Para desenvolvimento da atividade experimental são necessários os seguintes materiais:

- a. 3 recipientes de plástico com capacidade de até 500 ml
- b. 3 pratos de plástico
- c. 500 g de solo
- d. Nove sementes de feijão
- e. Água corrente
- f. Sal de cozinha
- g. Fita crepe
- h. Caneta piloto
- i. 1 prego

5.3.4 Procedimentos metodológicos

Em primeiro lugar orienta-se a exposição do conteúdo sugerido “O bioma caatinga e seus processos de degradação ambiental” que segue direcionado à ocorrência da desertificação, a partir de um momento de brainstorming dos principais conceitos conhecidos pelos estudantes em relação ao domínio morfoclimático estudado. Nesse momento as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável também podem ser apresentadas enquanto aliadas

no combate aos impactos ambientais, sobretudo o da desertificação. A exposição deve encaminhar-se de forma concisa e objetiva neste momento introdutório, auxiliando na compreensão das próximas etapas.

Posteriormente à exposição do conteúdo teórico tem-se a apresentação da proposta pedagógica sobre a atividade experimental, em consonância com o tema abordado e aos objetivos a serem alcançados durante os ensaios.

Para a realização das atividades experimentais é solicitada a divisão de equipes para a montagem e monitoramentos dos ensaios sob supervisão do professor. O número de alunos por grupo ficará a critério do docente, que irá dispor da melhor forma os estudantes para que todos consigam compreender os objetivos da atividade.

A ordem cronológica para a montagem dos experimentos se fará a partir da sequência a seguir:

1. Primeiro é necessário fazer furos nos recipientes plásticos que receberão o solo e as sementes de feijão permitindo a realização da rega;
2. Em seguida deve-se preencher os recipientes com o solo e colocá-los sobre os pratos de plástico;
3. Soterrar as três sementes de feijão em cada recipiente;
4. Umedecer o solo de cada ensaio com água corrente;
6. Aguardar aproximadamente uma semana para o crescimento das plântulas de feijão enquanto é feito a rega regularmente;
7. Após o crescimento das plantas é necessário identificar cada vaso com fita crepe e a caneta piloto em três tratamentos; T1 – irrigação com sal; T2 – irrigação sem sal; T3 – sem irrigação;
8. Em um copo de 200 ml preparar uma solução salina com uma colher de sal de cozinha dissolvido em água;
9. Regar o T1 com a solução salina; T2 com irrigação sem sal; e T3 sem irrigação
10. Dar continuidade ao experimento aguardando alguns dias fazendo a rega dos ensaios de acordo com a prescrição de cada tratamento.

Ao final dos ensaios espera-se que os alunos observem a morte gradual do tratamento que recebeu a solução salina, bem como o que não obteve rega, em detrimento de uma maior resistência daquele que foi irrigado gradativamente com água corrente. A reflexão dos resultados obtidos através dos experimentos tem o objetivo de aguçar e desenvolver a argumentação dos alunos frente à exposição de

problemas socioambientais em condição experimental relacionado ao manejo inadequado do solo, essencialmente pela agricultura.

Logo, os estudantes poderão não só unir a teoria à prática, mas também terão a oportunidade de vivenciar e considerar a existência desses impactos dentro do espaço por eles ocupados, e esse reconhecimento é fundamental para a adoção de um modelo de vida sustentável e consciente não só no futuro, mas no agora.

Nesse contexto, a utilização de experimentos na aprendizagem, em ambiente de laboratório ou não, podem ser um ponto de partida para a compreensão de conceitos e sua relação com as ideias a serem discutidas em sala de aula (SILVA et al., 2017). Dessa forma, almeja-se nesse cenário que os alunos possam ver a ciência como fruto de uma prática sociocultural (PIRES et al., 2019) relacionada a evolução e transformação social, e enquanto agentes ativos no interior das relações sociais (OLIVEIRA et al., 2019).

6. CONCLUSÃO

A análise física somada à Difração por Raios - X revelam um solo composto pela sedimentação aluvial, com altos valores de SiO₂ e de boas reservas nutricionais.

Através dos cálculos dos atributos do solo foi possível atestar a diminuição de todos os valores de CTC efetiva das amostras experimentais.

Os teores de Ca% e %Mg tiveram um aumento pequeno em tratamentos pontuais, resposta diferente às taxas de %K que aumentaram substancialmente em todo intervalo experimental em ralação ao controle de campo.

O estoque de nutrientes revelou a diminuição de ECa e EMg em todos os tratamentos, porém houve um aumento abundante nos valores de EK e EP, em especial no tratamento que simulou episódios úmidos com uso da matéria orgânica e talos liquênicos.

Os índices de Na⁺ mostraram-se altos desde a amostra controle, mas apresentaram um decréscimo relevante especialmente com a associação da matéria orgânica ao talo e/ou extrato do líquen sobreposto ao solo.

Os valores de Estimativa de Nutrientes apresentam comportamento similar aos de atributos do solo, atestando a mesma eficiência ou não no acréscimo de nutrientes.

Destaca-se uma maior atuação dos extratos orgânicos, sobretudo em forma de pó, no acréscimo de nutrientes e diminuição da salinidade tendo os tratamentos 6.3 e 6.4 os melhores resultados.

A utilização da matéria orgânica e talo e/ou extrato etéreo de *Cladonia substellata* em pó e/ou diluído, simulando períodos úmidos ou secos foram capazes de reduzir a salinidade do solo, além de biodisponibilizar valores relevantes de K⁺ e P⁺.

Os condicionantes de umidade e o tempo também foram fatores cruciais para a obtenção das respostas laboratoriais, tendo o período de seis meses e o acréscimo da umidade as melhores respostas na disponibilização de elementos e remediação do solo.

Propostas didáticas voltadas à educação ambiental para a compreensão da degradação do bioma Caatinga, em especial da salinização dos solos, são medidas essenciais na formação cidadã dos estudantes para promover a conscientização ambiental dos fenômenos ligados às suas realidades. Por isso, inserir os problemas

ambientais eminentes de uma determinada região no processo de ensino-aprendizagem auxilia na formação de sujeitos capazes de pensar a si mesmos na relação com os outros e com o mundo em diferentes escalas espaço-temporais (GIROTTTO e GIORDANI, 2019).

REFERÊNCIAS

AB´SABER, A. N. **Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical**. Geomorfologia, 53. São Paulo: Instituto de Geografia, 1977.

ALMEIDA, Cleuma Christir da Silva et al. CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO EM NEOSSOLO FLÚVICO E CAMBISSOLO HÁPLICO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 2, 2020.

ANGELIN, L. A. A.; KOSIN, M. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Aracajú – NW. Folha SC.24-V. Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí. Escala 1:500.000. Brasília: **CPRM**, 2000.

ARAÚJO, Bernadete Fernandes de; SOVIERZOSKI, Hilda Helena. Percepção dos alunos do ensino médio sobre os biomas de Mata Atlântica e Caatinga Perception of high school students about the Atlantic Forest and Caatinga biomes. **Revista Práxis**, v. 8, n. 16, 2016.

ARAUJO FILHO, J. C. de et al. Solos do Semiárido: características e estoque de carbono. In: **GIONGO, V.; ANGELOTTI, F. (ed.). Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2022.

ARCOVERDE, Sálvio Napoleão Soares; CORTEZ, Jorge Wilson; PEREIRA, Janielle de Souza. Atributos físicos de solos em áreas sob diferentes usos no semiárido baiano. **Holos**, v. 5, p. 65-77, 2018.

AZEVEDO NETO, A. D., & Tabosa, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4 (2),165-171, 2000.

BARROS, Dayane de Melo et al. Propriedades Bioativas do Ácido Úsnico: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 2, n. 1, p. 214-225, 2019.

BARROS, José. Fertilidade do solo e Nutrição das plantas. **Repositório Universidade de Évora**, 2020. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/28120>. Acesso em: 28 de out, 2022.

BARROS, Maiccon Martins; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição. Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais: estado da arte. **CETEM/MCTI**, 2021.

BECKMANN, Márkilla Zunete et al. Potencial ornamental de espécies do Bioma Caatinga. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 43-58, 2017.

BENDINI, Juliana et al. Potencial de Espécies Arbóreas para a Nidificação de Abelhas Nativas no Bioma Caatinga. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, v. 12, n. 2, 2022.

BOTÊLHO, Lucas Antônio Viana; SANTOS, Mateus Ferreira; SANTOS, FK da S. A educação ambiental e a geografia escolar: dimensões curriculares, possibilidades e desafios contemporâneos. **Caminhos de Geografia, Uberlândia**, v. 17, n. 59, p. 126-143, 2016.

BRANCO, Emerson Pereira; ROYER, Marcia Regina; BRANCO, Alessandra Batista de Godoi. A abordagem da Educação Ambiental nos PCNs, nas DCNs e na BNCC. **Nuances: estudos sobre Educação**, v. 29, n. 1, 2018.

BRASIL, Constituição (1999). Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Capítulo I da Educação Ambiental. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 27 abr. 2022.

BRASIL, Pan. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. **PAN-Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2004.

BRASIL. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. Ministério do Meio Ambiente**. 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Convenção das Nações Unidas faz projeção para o Combate à Desertificação**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/convencao-das-nacoes-unidas-faz-projecao-para-o-combate-a-desertificacao>. Acesso em: 19, out de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **CAATINGA**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acesso em: 19, out de 2022.

BRAZ, Sofia Negri. **Líquens como bioindicadores de qualidade ambiental em áreas de borda de florestas urbanas**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2020.

CARVALHO, José Carlos Ribeiro de et al. IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA PARA A AGRICULTURA. **Pesquisas agrárias e ambientais Volume VIII**, 2021.

CASTRO, Francelita Coelho; SANTOS, Antonio Marcos dos. SALINIDADE DO SOLO E RISCO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO. **Mercator** , Fortaleza, v. 19, dez. 2019.

CAVALCANTE, Alian Cássio Pereira et al. Adubação com potássio e cálcio na nutrição e produção de goiabeira'Paluma'. **Revista Ceres**, v. 66, p. 54-62, 2019.

COLA, Geovana Poton Arcobeli; SIMÃO, João Batista Pavesi. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 3, 2012.

COOPER, M. Degradação e Recuperação de Solos. **Piracicaba**, 31p, 2008.

COPETTI, Camila Morizzo et al. Biorremediação: metodologia sustentável na remoção de xenobióticos da água. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e29811931978-e29811931978, 2022.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto de Cadastro de Fontes de Abastecimento por água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Cabrobó, estado de Pernambuco. Recife: **CPRM/PRODEEM**, 2005.

SHINZATO, EDGAR; CARVALHO FILHO, Amaury. PROJETO APA SUL RMBH: Estudos do meio físico, pedologia. **Belo Horizonte/MG: CPRM/EMBRAPA/SEMAD**, 2005.

CUNHA, Tony Jarbas Ferreira et al. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: **SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido**, 2010.

DE LA ROSA, John P. McIlroy; WARKE, Patricia A.; SMITH, Bernard J. Lichen-induced biomodification of calcareous surfaces: bioprotection versus biodeterioration. **Progress in Physical Geography**, v. 37, n. 3, p. 325-351, 2013.

DUARTE, R.M.R., CASAGRANDE, J.C. A interação solo-vegetação na recuperação de áreas degradadas. In: **BARBOSA, L.M. Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista**. Instituto de Botânica, São Paulo, p. 52- 69, 2006.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Nessosolos Flúvicos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata->

sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-fluvicos.
Acesso em: 19 de out, 2022.

EMBRAPA. **Nutrientes**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/uva-para-processamento/producao/solo-e-adubacao/nutrientes>. Acesso em. 22 de ago, 2022.

FELDENS, Leopoldo. O homem, a agricultura e a história. **Lajeado: Univantes**, 2018.

FERNANDES, Moabe Ferreira; QUEIROZ, Luciano Paganucci de. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.

FIGUEIREDO, P.V. **BIORREMEDIAÇÃO DE NEOSSOLO FLÚVICO SALINIZADO PELO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO A PARTIR DO USO DE EXTRATO**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

FLORÊNCIO, Roberto Remígio. ASPECTOS CULTURAIS DO POVO TRUKÁ DE ASSUNÇÃO: Territorialidades Emergentes. **Revista Rios**, v. 14, n. 24, p. 62-74, 2020.

FONSÊCA, Drielly Naamma et al. Mapeamento morfodinâmico como suporte à análise de processos de degradação em áreas do município de Cabrobó-Pernambuco. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 19, n. 2, p. 92-107, 2017.

GIRACCA, Ecila Maria Nunes.; NUNES, José Luis da Silva. **Enxofre – Agrolink**. 2016. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/enxofre_361449.html. Acesso em: 22 de ago, 2022.

GIROTTTO, Eduardo Donizeti; GIORDANI, Ana Claudia Carvalho. Princípios do ensinar-aprender geografia: apontamentos para a racionalidade do comum. **Geografia**, v. 44, n. 1, p. 113-134, 2019.

GOMES, Erbs Cintra et al. Plantas da caatinga de uso terapêutico: levantamento etnobotânico. **Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**, v. 5, n. 2, 2008.

GOMES, J. A. et al. Adubações orgânica e mineral, produtividade do milho e características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo. **Acta Sci. Agron - Maringá**, v. 27, n. 3, p. 521-529, 2005.

GOMES, Vanessa Dos Santos et al. **Determinação de óxidos e traços em solos da caatinga submetidos à irrigação com efluentes domésticos tratados**. Anais CONADIS... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50630>. Acesso em: 05 de Nov. 2022.

GONÇALVES, Israel Venismare Cordeiro et al. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 589-596, 2011.

GRZEBIELUKA, Douglas; KUBIAK, Izete; SCHILLER, Adriane Monteiro. Educação Ambiental: A importância deste debate na Educação Infantil. **Revista Monografias Ambientais**, p. 3881-3906, 2014.

GUILHERMINO, Magda Maria et al. Defesa da caatinga: proposta de política pública para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar em bioma caatinga. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 14, n. 2, p. 372-386, 2019.

GUIMARÃES, Hayda Maria Alves; SANTOS, Bruna Grasiela Oliveira. Avaliação da eficiência da aula e experimento sobre salinidade do solo, em alunos do 9º ano do ensino fundamental da escola estadual Custódia da Silva Pedreira em Porto Nacional–TO. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 9, n. 1, p. 82-94, 2011.

HONDA, Neli Kika; VILEGAS, Wagner. A química dos líquens. **Química Nova**, v. 22, p. 110-125, 1999. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/R8dWd8FyMp6XNr9VCVp/format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 de Nov. 2022.

HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos. **Microbiologia do solo**, p. 329-340, 1992.

JACQUES, R.J.S.; SILVA, K.J. da; BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O. Biorremediação de um solo contaminado com antraceno sob diferentes condições físicas e químicas. **Ciência Rural**, v.40, n.2, p.280-287, 2010.

JESUS, João; BORGES, Maria Teresa. Salinização de solos em Portugal. **Revista de Ciência Elementar**, v. 8, n. 3, 2020.

KASEKER, Jéssica Fernandes et al. Distribuição das formas de potássio no solo em decorrência da aplicação de calcário. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 1, p. 35-46, 2022.

KUPLICH, Tatiana Mora; CAPOANE, Viviane; COSTA, Luis Fernando Flenik. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 31, pág. 83-100, 2018.

LIMA, Deyvson Natanael Santos et al. Bioremediation of salinized soils by the lichen *Cladonia substellata* fomented by a nitrogen source and gamma radiation. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 49, p. 78-93, 2020.

LOPES, Laryssa Sheydder de O.; SOARES, Rafael Celestino. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), nordeste do Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 1, n. 56, p. 307-323, 2016.

LUCENA, Joselma Araújo de. **Dinâmica atmosférica e a precipitação pluvial no núcleo de desertificação de Cabrobó-PE**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

MACHADO, José et al. Otimização da cultura do morangueiro com uso de líquens em seu cultivo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 04, p. 1239-1253, 2017.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MAPBIOMAS. DESMATAMENTO, QUEIMADAS E RETRAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA AUMENTAM O RISCO DE DESERTIFICAÇÃO DA CAATINGA. 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/desmatamento-queimadas-e-retracao-da-superficie-da-agua--aumentam-o-risco-de-desertificacao-da-caatinga#:~:text=Nesse%20per%C3%ADodo%2C%2011%20munic%C3%ADpios%20da,entre%201985%2D2020%20no%20bioma>. Acesso em: 19 de ago, 2022.

MARIANO NETO, B. Ecologia e imaginário: memória cultural, natureza e submundialização. João Pessoa: **CT/Editora Universitária/UFPB**, 2001. 206 p.

MARQUES, F. N et al. Solos do Nordeste. 2014. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114582/1/FOLDER-SOLOS-DO-NE-versao-final.pdf>. Acesso em: 19 de ago, 2022.

MARTINS, Mônica Cristina Barroso et al. *Cladia aggregata* (lichen) from Brazilian northeast: chemical characterization and antimicrobial activity. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 53, p. 115-122, 2010.

MELO, P. **Radiação gama na funcionalidade e interação de *Cladonia salzmannii* Nyl. (líquen) com o solo**. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Energéticas Nucleares. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

MENEGALE, ML de C.; CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **EMBRAPA (ALICE)**, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130412/1/CPAF-AP-2015-Silicio-interacao-com-o-sistema-solo-planta.pdf>. Acesso em: 22 de ago, 2022.

MESQUITA, Maria Otammires Mota de et al. Potencial antimicrobiano de extratos e moléculas isolados de plantas da Caatinga: uma revisão. **Repositório Institucional da Fiocruz**, 2017. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/24857/maria_otammires_mota_et_all.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 27 de out. 2022.

MOREIRA, Icaro Thiago Andrade; MARQUES, Isadora Machado. Biorremediação de áreas costeiras impactadas por Petróleo. **Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, v. 18, 2020.

MUNZI, Silvana; GOUVEIA, Catarina. Perguntem aos líquenes. **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, n. 1, 2018.

NUNES FILHO, José et al. Fitoextração de sais do solo por capim-angola irrigado no vale do São Francisco, Pernambuco. **IRRIGA**, v. 1, n. 2, p. 67-73, 2015.

NUNES, Nei Antonio; BANHAL, Alberto Essondon. A educação ambiental como caminho para o desenvolvimento sustentável. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 1, p. 1547-1570, 2022.

OLIVEIRA, A.B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. **O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, 2010.

OLIVEIRA, Émerson Dias de et al. Leituras e possibilidades de representar o espaço geográfico no ensino fundamental. **Ágora**, v. 21, n. 2, p. 25-36, 2019.

PAES, Raquel da Silva; MOREIRA, Sérgio Carvalho; ZAPPES, Camilah Antunes. Conhecimento tradicional e o impacto da salinização em comunidades agrícolas no norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 49, 2018.

PEDROTTI, Alceu et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEIXOTO, Sandra Cadore et al. Práticas experimentais aplicadas ao ensino de Química como ferramenta para a aprendizagem. **Revista Triângulo**, v. 13, n. 1, p. 160-173, 2020.

PEREIRA, Aline Ramalho Brandão; DE FREITAS, Diego Antônio França. Uso de micro-organismos para a biorremediação de ambientes impactados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 995-1006, 2012.

PEREIRA, Artenízia Luisa da Silva; FLORENCIO, Roberto Remígio; DOS SANTOS, Carlos Alberto Batista. Educação Indígena: Relação Identitária dos Truká com a Caatinga/Indigenous Education: Identity Relationship of the Truká with the Caatinga. **Revista FSA (Centro Universitário Santo Agostinho)**, v. 19, n. 8, p. 213-231, 2022.

PEREIRA, Clelfa Monteiro; CARACRISTI, Isorlanda. Atividades experimentais como prática de ensino-aprendizagem de temas de Geografia Física no Ensino Médio. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 1, p. 01-09, 2020.

PEREIRA, E. C.; MOTA-FILHO, F. O; SILVA, N. H.; ANDRADE, M. M C.; SILVA, A. M.; COSTA, D. L. C. R. Ação do ácido fumarprotocetrárico de *Cladonia verticillaris* (líquen) sobre amostras de granito da Região Metropolitana do Recife. **52ª Reunião Anual da SBPC**. Resumo em CD ROM, 2000.

PERNAMBUCO. **Currículo de Pernambuco Ensino Fundamental**, 2019.

PIMENTA. S. Comparação entre a biorremediação de água natural e água residual utilizando *Chlorella vulgaris*, Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, 52 pp, 2012.

PINTO, Rui. Preservação da fertilidade do solo em horticultura biológica. **Revista técnico-científica agrícola**, n. 35, p. 18-21, 2020.

PIRES, Ronaldo Gonçalves et al. Levantamento e análise da utilização de experimentos no ensino de ciências em contextos investigativos. **Educere**, v. 19, n. 1, p. 7-28, 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/235578944.pdf>. Acesso em: 27 de out, 2022.

PRESTES, Rosi Maria; VINCENCI, Kelin Luiza. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.

RODRIGUES, Antônio Rony da Silva Pereira; ZACARIAS, Luis Henrique Vieira Lima. Biorremediação de solos contaminados por pesticidas—Uma revisão integrativa da literatura. **Conexão ComCiência**, v. 1, n. 3, 2021.

SÁ-FILHO, Geovan Figueirêdo de et al. Plantas medicinais utilizadas na caatinga brasileira e o potencial terapêutico dos metabólitos secundários: uma revisão. **Research, society and development**, v. 10, n. 13, p. e140101321096-e140101321096, 2021.

SÁ, I. B.; SÁ, Il da S.; SILVA, A. de S. Desertificação na região de Cabrobó-PE: a realidade vista do espaço. **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, v. 3, p. 2006, 2006.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no Nordeste Brasileiro. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, v. 11, 2002, p.115-126.

SANTANA, MAYAME DE BRITO. **Caracterização e classificação de solos na ilha de Assunção, Cabrobó—Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.

SANTIAGO, Rocío et al. Interactions of the lichen *Cladonia salzmannii* Nyl. with soil, microbiota, mycorrhizae and *Genipa Americana*. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 18, n. 3, p. 833-850, 2018.

SANTOS, Antonio Marcos; DE SOUZA, Robério Ferreira; CASTRO, Francelita Coelho. Auto-organização da vegetação de caatinga em áreas salinizadas no município de Petrolina-PE. **Scientia Plena**, v. 14, n. 8, 2018.

SANTOS, P. R dos. **Atributos do solo em função dos diferentes usos em perímetro irrigado do sertão de Pernambuco**. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) -Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2010. 112 f. 2010.

SANTOS, Sidnei Cerqueira dos et al. Mapeamento tecnológico de processos microbianos aplicados na biorremediação de metais pesados. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 5, p. 1740, 2018.

SILVA, A. K. O. **Uso de fonte nitrogenada para incremento da síntese de substâncias modificadoras de Luvisolo salinizado no município de Belém do São Francisco (PE) pelo líquen *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr**. Trabalho de conclusão de curso em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

SILVA, A. K. O.; PEREIRA, E. C. G. **Capacidade de recuperação de solos salinizados por *Cladonia verticillaris* (líquen) - Ciclagem de nutrientes em solos subjacentes a líquens**. In: 14^o Jornada de Iniciação Científica PIBIC/FACEPE/CNPq - Joaquim Nabuco e a luta pela cidadania, Recife, 2010.

SILVA, Adriele Gomes da et al. O manejo florestal sustentável da caatinga. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 5, p. 872-884, 2021.

SILVA, Alineaurea Florentino; DA SILVA, Maria Cristina Basílio Crispim. Agricultura no Nordeste Semiárido e os resíduos orgânicos aproveitáveis. **Revista Equador**, v. 5, n. 2, p. 102-119, 2016.

SILVA, Andrezza Karla de Oliveira. **Avaliação ambiental do município de Cabrobó–PE, com ênfase aos níveis de degradação da vegetação e biorremediação do solo na ilha de Assunção**. Tese de Doutorado em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

SILVA, Andrezza Karla de Oliveira; SILVA, Helena Paula de Barros. O processo de desertificação e seus impactos sobre os recursos naturais e sociais no município de Cabrobó– Pernambuco–Brasil. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 8, n. 1, p. 203-215, 2015.

SILVA, Denízia Ribeiro da et al. QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO. **Revista Valore**, v. 8, p. 25-36, 2023.

SILVA, Enid Rocha Andrade da. Agenda 2030: ODS-Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **IPEA**, 2018. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda_2030_ods_metas_na_c_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_RUIadequa.pdf. Acesso em: 01 de Nov. 2022.

SILVA, Ivamauro Ailton de Sousa. Bases conceituais e abordagens metodológicas sobre o processo de desertificação no Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 602-612, 2016.

SILVA, Ivamauro Ailton de Sousa. Núcleos de desertificação do nordeste brasileiro: suscetibilidade e dinâmica pluviométrica. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 1768-1776, 2017.

SILVA, Jéssica Neves da et al. Experimentos de baixo custo aplicados ao ensino de química: contribuição ao processo ensino-aprendizagem. **Scientia Plena**, v. 13, n. 1, 2017.

SILVA, Juliane Barbosa Sales da. Interação e dinâmica de substâncias produzidas por *Cladonia substellata* (líquen) com Neossolos Quartzarênicos de tabuleiros costeiros do Nordeste. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

SILVA, Livia Jacielly Caldas da. **Disponibilidade de macro e micronutrientes durante o processo de compostagem de resíduos orgânicos**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental. Instituto Federal Goiano, Campos Rio Verde, 2019.

SILVA, P. C. G. da; GUIMARÃES FILHO, C. Eixo tecnológico da ecorregião Nordeste. In: SOUSA, I. S. F. de. (Org.). Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária. 1ªed.Brasília, **DF: Embrapa Informação Tecnológica**, 2006, v. Cap. 3, p. 109-161.

SILVA, Pedro Luan Ferreira da et al. Qualidade física de solo arenoso em ambiente semiárido sob sistema de integração laboral-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** , v. 4, pág. 598-616, 2021.

SILVA, Ricardo Ferreira et al. Interação do líquen *Cladonia verticillaris* com solo de sua área de ocorrência. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 13, p. 50-58, 2012.

SILVA, Wilson Antonio da et al. A utilização do indicador natural para a aplicação de uma atividade experimental no ensino de química. **Brazilian Journal of development**, v. 6, n. 4, p. 16859-16871, 2020.

SOARES, D. B. **Degradação Ambiental no Semiárido Pernambucano: Contribuição ao estudo da desertificação**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco 2012.

SOARES, I. A. et al. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, p. 341-350, 2020.

SOBRAL, Lafayette Franco et al. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E)**, 2015.

SOUZA, Henrique Antunes; LEITE, Luiz Fernando Carvalho; MEDEIROS, João Carlos. Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste. **Embrapa Meio-Norte Livro científico (ALICE)**, 2021.

SOUZA, Luciana Soares de et al. Percepção ambiental do bioma caatinga no contexto escolar. **Revista Iberoamericana de Educación**, 2017.

TAKAHASHI, Jacqueline Aparecida et al. Fungos filamentosos e química: velhos conhecidos, novos aliados. *Revista virtual de química*, v. 9, n. 6, p. 2351-2382, 2017. BRASIL, Pan. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. **PAN-Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2004.

TAVARES, Sr de L. Técnicas de remediação. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/983651/1/Cap2LivroCASilvioTavares.pdf>. Acesso em: 01 de Nov. 2022.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TIGRE, R. C. et al. Potential phenolic bioherbicides from *Cladonia verticillaris* produce ultrastructural changes in *Lactuca sativa* seedlings. **South African Journal of Botany**, v. 98, p. 16-25, 2015.

URREA, Ernest Marco; ROMERA, Inmaculada García; ARANDA, Elisabete. Potential of non-ligninolytic fungi in bioremediation of chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons. **New Biotechnology**, v. 32, n. 6, pág. 620-628, 2015.

VALE, Italo Guimarães do; DELGADO, Angel Ramon Sanchez; SILVA, Robson Mariano. Classificação de Imagens hiperespectrais utilizando redes neurais convolucionais para caracterização da ocupação desordenada do solo sobre um recorte do Parque Nacional da Tijuca, RJ. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 01, p. 561-571, 2022.

VASCONCELOS SOBRINHO, José. Identificação de processos de desertificação no Polígono das Secas do Nordeste Brasileiro. **Recife: SUDENE**, 1978.

VERDUM, Roberto et al. Desertificação: questionando as bases conceituais, escalas de análise e consequências. **GEOgraphia**, v. 3, n. 6, p. 83-91, 2001.

WOICIECHOWSKI, Thiago et al. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1455-1464, 2018.

YOSHIOKA, Maria Harumi; LIMA, Marcelo Ricardo de. Experimentoteca de solos salinidade do solo. **Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Disponível em: http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/10155/salinidade_solo.pdf. Acesso em: 20 de Agosto de, 2022.**