

ANTONIO NALDIRAN CARVALHO DE CARVALHO

POTENCIAL DE *Prosopis juliflora* (SW.) DC. NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO  
SALINO E IMPACTO SOBRE A BIODIVERSIDADE EM ÁREAS CILIARES  
SEMIÁRIDAS

RECIFE  
Pernambuco - Brasil  
Setembro 2024

ANTONIO NALDIRAN CARVALHO DE CARVALHO

POTENCIAL DE *Prosopis juliflora* (SW.) DC. NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO  
SALINO E IMPACTO SOBRE A BIODIVERSIDADE EM ÁREAS CILIARES  
SEMIÁRIDAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais. Área de Concentração: Ciências Florestais. Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação da natureza

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria da Penha Moreira Gonçalves  
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Ana Paula Donicht Fernandes  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Setembro 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

C331p Carvalho, Antonio Naldiran de.  
Potencial de *Prosopis juliflora* (SW.) DC. na  
fitorremediação de solo salino e impacto sobre a biodiversidade  
em áreas ciliares semiáridas / Antonio Naldiran Carvalho de  
Carvalho. — Recife, 2024.  
52 f.; il.

Orientador(a): Maria da Penha Moreira Gonçalves.  
Co-orientador(a): Ana Paula Donicht Fernandes.  
Co-orientador(a): Maria Betânia Galvão dos Santos Freire.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,  
Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Salinidade. 2. Solos - Degradação. 3. Plantas exóticas. 4.  
Biodiversidade 5. Regiões áridas. I. Gonçalves, Maria da Penha  
Moreira, orient. II. Fernandes, Ana Paula Donicht, coorient. III.  
Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos, coorient. IV. Título

CDD 634.9

ANTONIO NALDIRAN CARVALHO DE CARVALHO

POTENCIAL DE *Prosopis juliflora* (SW.) DC. NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO  
SALINO E IMPACTO SOBRE A BIODIVERSIDADE EM ÁREAS CILIARES  
SEMIÁRIDAS

Aprovado em:

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Simone Mirtes Araújo Duarte  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)

---

Prof<sup>º</sup>. Dr<sup>º</sup>. Gerson Diego Pamplona Albuquerque  
(Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA)

Orientadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria da Penha Moreira Gonçalves  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Setembro – 2024

Aos Meus Pais, Regina da Silva e Francisco Reginaldo

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca me fazer desistir dos meus objetivos, mesmo eu as vezes achando que não iria conseguir ele foi lá e me mostrou o caminho, sempre me guiando e me fortalecendo cada vez mais a ser forte e corajoso

Aos meus pais Regina da Silva e Francisco Reginaldo por serem meu porto seguro, mesmo estando tão distante sei que sempre posso contar com eles, para me apoiar e me aconselhar nas minhas decisões, memo muito das vezes sem entenderem nada.

Aos meus irmãos, Nayron, Nayson e Marilda pelo apoio e a motivação de sempre e nunca me deixarem fraquejar na minha caminhada.

À minha orientadora, Maria da Penha, por toda dedicação, paciência e compreensão comigo durante esse período, e por sempre me motivar e confiar em mim no desenvolvimento da pesquisa e as contribuições.

As minhas coorientadoras Betânia Freire pelas Contribuições e pela parceria sempre me ajudando e contribuindo de forma relevante no desenvolvimento da pesquisa. Em especial a Ana Paula Fernandes por sempre me incentivar, me motivar e nunca ter desistindo de mim, sempre me mostrando o caminhando correto a seguir quando eu queria me desviar do caminho certo.

Ao Orlando Diretor da estação experimental de Ibimirim por ter me ajudado e contribuído durante o período de campo me auxiliando o orientando o pessoal a me ajudar, assim como o Lucas e o Zezinho nas coletadas de dados, Cricia e Iraneide durante o período que passei na estação.

A minha amiga Maria Daiza por sempre se mostrar disposta e empenhada a colaborar comigo me ajudando em várias fases do processo de elaboração da pesquisa, sempre participativa e assídua.

As minhas amigas Sara Nogueira e Erika Nonato pelos incentivos e contribuições na escrita sempre me motivando e fazendo com que eu não perdesse o foco, dando conselhos.

Aos meus amigos Maria Alinny, Jailson, Débora Almeida, Ricardo e Dennis que contribuíram de alguma forma tanto indiretamente como diretamente para que essa pesquisa conseguisse fluir.

A todos os Professores do Programa que contribuíram de alguma forma, seja no conhecimento repassado, nas disponibilidades em ceder espaços para realização da pesquisa o meu muito obrigado

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRPE pela valiosa contribuição na minha formação acadêmica e à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

CARVALHO, A. N. C, **POTENCIAL DE *Prosopis juliflora* (SW.) DC. NA**

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO SALINO E IMPACTO SOBRE A BIODIVERSIDADE EM ÁREAS CILIARES SEMIÁRIDAS.** 2024. Orientador: Maria da Penha Moreira Gonçalves. Coorientadores: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Donicht Fernandes, Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

**RESUMO**

A salinização do solo vem sendo considerada problema global pois ameaça a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, contribuindo como uma das causas mais relevantes da degradação do ambiente. Neste contexto, algumas espécies florestais podem contribuir para mitigar essa salinidade e contribuir na recuperação desses solos, podendo diminuir a questão da salinidade desses solos, como é o caso da *Prosopis juliflora* (Sw) D.C. em áreas salinizadas sob colonização espontânea reduz a salinidade do solo e facilita o retorno da biodiversidade florística nativa em solo salino no semiárido pernambucano. O estudo foi realizado em uma área de 10 hectares na Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim, PE, onde foram selecionados três locais distintos: área sem presença de *P. juliflora* (SPP); área com presença de *P. juliflora* (CPP); e área pós-corte de *P. juliflora* (PCP), nas quais foram realizadas supressão e posterior queima dos restos vegetais. Foram realizadas coletas de dados florísticos das espécies vegetais presentes na área (arbustivas e arbóreas) sendo instalado 20 parcelas para o levantamento florístico da área CPP. Para realização do levantamento das espécies presente no banco de sementes do solo, foram coletadas amostras de solo com auxílio de um gabarito de 20x20 cm na profundidade de 5 cm do solo nas áreas CPP e PCP, essas amostras foram encaminhadas para o viveiro florestal, sendo submetidas a um sistema de irrigação manual até a germinação das sementes, ocorrendo num período de 13 semanas. Para avaliação da entomofauna edáfica foram instaladas armadilhas *Pitfall* no centro das parcelas posteriormente sendo encaminhadas para o laboratório de proteção florestal para identificação a nível de ordem e classe. Foram determinadas as características químicas do solo nas três diferentes condições estudadas, nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm. Os cátions solúveis e trocáveis  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e  $Na^+$  e  $K^+$  foram medidos por fotometria de emissão de chama. O banco de sementes nas duas áreas CPP e PCP ocorreu o aparecimento de espécies do componente de plantas herbáceas, sub-arbustivas e arbustivas mostrando a importância inicial das mesmas nesse estágio de sucessão ecológica. Entomofauna do solo a área CPP foi a que contribuiu mais para a diversidade de insetos na área. Para os componentes químicos do solo foram avaliados que a PST e a RAS na PCP e CPP o teor desses nutrientes foram bem inferiores comparado com a área SPP, podendo ser mostrando que a espécie *P. juliflora* pode contribuir com a diminuição desses sais presentes no solo, com a retira do sódio, assim também diminuindo a sodicidade dessas áreas e aumento de nutrientes que são importante para o estabelecimento de espécies florestais como o potássio. Com os resultados da presente pesquisa, pode ser observada a participação de *P. Juliflora* na melhoria do ambiente edáfico de solos salinos em áreas ciliares de caatinga, onde a mesma proporcionou condições facilitadora para a colonização e regeneração natural de espécies nativas após sua retirada da área, sendo importante colaboradora na recuperação dessas áreas.

**Palavras-chave:** Salinidade, Solo degradado, Espécie Exótica

**CARVALHO, A. N. C, POTENTIAL OF *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. IN THE RECOVERY OF SALINE SOIL ON river banks IN SEMI-ARID ENVIRONMENT.**

Advisor: Maria da Penha Moreira Gonçalves. Co-supervisors: , Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Donicht Fernandes, Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

**ABSTRACT**

Soil salinization has been considered a global problem because it threatens the productivity and sustainability of agricultural systems, contributing as one of the most relevant causes of environmental degradation. In this context, some forest species can contribute to mitigate this salinity and contribute to the recovery of these soils, which can reduce the issue of salinity of these soils, as is the case of *Prosopis juliflora* (Sw) D.C., which is a salt-tolerant species and develops easily. Thus, the objective of this study is to verify whether *P. juliflora*, in salinized areas under spontaneous colonization, reduces soil salinity and facilitates the return of native floristic biodiversity in saline soil in the semiarid region of Pernambuco. The study was carried out in an area of 10 hectares at the Ibimirim Irrigated Agriculture Station, PE, where three sites were selected: area without absence of *P. juliflora* (SPP); area with the presence of *P. juliflora* (CPP); and post-cutting areas of *P. juliflora* (PCP), in which they were suppression and sale of this woody material and subsequent burning of the plant remains. Floristic data was collected from the plant species present in the area (shrubs and trees) and 20 plots were installed for the floristic survey of the CPP area. To survey the species present in the soil seed bank, soil samples were collected using a 20x20 cm template at a depth of 5 cm in the soil in the CPP and PCP areas. These samples were sent to the forest nursery, being subjected to a manual irrigation system until the seeds germinated, occurring over a period of 13 weeks. To evaluate the edaphic entomofauna, Pitfall traps were installed in the center of the plots and subsequently sent to the forest protection laboratory for identification at the level of order and class. The chemical characteristics of the soil were determined in the three different conditions studied, in the layers of 0-10, 10-30 and 30-60 cm. The soluble and exchangeable cations  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  were quantified by atomic absorption spectrophotometry and  $Na^{+}$  and  $K^{+}$  were measured by flame emission photometry. The seed bank in both CPP and PCP areas saw the appearance of species of the herbaceous, sub-shrub and shrub component, showing their initial importance in this stage of ecological succession. Soil entomofauna the CPP area contributed most to the diversity of insects in the area. For the chemical components of the soil, it was evaluated that PST and RAS in PCP and CPP, the content of these nutrients were much lower compared to the SPP area, which may be showing that the species *P. juliflora* can contribute to the reduction of these salts present in the soil, with the removal of sodium, thus also reducing the sodicity of these areas and increasing nutrients that are important for the establishment of forest species such as potassium. With the results of this research, the participation of *P. Juliflora* in improving the edaphic environment of saline soils in riparian areas of caatinga can be observed, where it provided facilitating conditions for the colonization and natural regeneration of native species after their removal from the area, being an important contributor to the recovery of these areas.

**Keywords:** Salinity, Degraded soil, Exotic Species

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Parâmetros fitossociológicos do componente arboreo-arbustivo na CPP, lotes da estação experimental de Ibimirim-PE. ....	24
<b>Tabela 2.</b> Lista de famílias e espécies nas duas áreas do banco de sementes provenientes do município de Ibimirim - PE. ....	27
<b>Tabela 3.</b> Número de indivíduos e frequências da entomofauna do solo ocorrentes nas áreas PCP e CPP em ambiente ciliar no município de Ibimirim -PE. ....	31
<b>Tabela 4.</b> Índices faunísticos de Dominância, Abundância, Frequência e Constância das ordens e classes encontradas na área PCP (Pós corte de <i>P. juliflora</i> ), em áreas ciliares no município de Ibimirim -PE.....	34
<b>Tabela 5.</b> Índices faunísticos de Dominância, Abundância, Frequência e Constância das ordens e classes encontradas na área CPP (com presença de <i>P. juliflora</i> ) em áreas ciliares no município de Ibimirim - PE.....	35
<b>Tabela 6.</b> Teste de Fisher para as propriedades químicas do solo de acordo com o uso e a profundidade de coleta do solo, no município de Ibimirim (PE). ....	36

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização das áreas de estudo no Município de Ibimirim, estado de Pernambuco, Brasil. ....	18
<b>Figura 2.</b> Armadilha do tipo pitfall, instalada no centro de cada parcela. ....	21
<b>Figura 3.</b> Número de sementes emergidas semanalmente no banco de semente do solo das áreas de estudo, Ibimirim-PE. ....	26
<b>Figura 4.</b> Taxa de mortalidade e sobrevivência em relação Número de indivíduos por parcela amostrada semanalmente no banco de semente do solo nas áreas de estudo, sendo A (PCP) e B (CPP), Ibimirim-Pe. ....	30
<b>Figura 5.</b> Detalhamento dos capturados na armadilha A – Scarabaeidae; B - Ortoptera .....	32
<b>Figura 6.</b> Porcentagem das Ordem e Classes distribuídas nas áreas de estudo. ....	33
<b>Figura 7.</b> Potencial hidrogeniônico (a), condutividade elétrica (b) e teores trocáveis de cálcio (c) e magnésio (d) e capacidade de troca de cátions potencial (e) do solo sob diferentes usos no município de Ibimirim (PE) .....	38
<b>Figura 8.</b> Teores trocáveis de potássio (a) e sódio (b), capacidade de troca de cátions potencial (c) e relação de adsorção de sódio (d) do solo sob diferentes usos para cada profundidade de coleta no município de Ibimirim (PE) .....	39
<b>Figura 9.</b> Potencial hidrogeniônico (a), condutividade elétrica (b) e teores trocáveis de cálcio (c) e magnésio (d) do solo sob diferentes profundidades de coleta no município de Ibimirim (PE). ....	41
<b>Figura 10.</b> Teores solúveis de cálcio (a), magnésio (b), potássio (c) e sódio (d) do solo sob diferentes profundidades de coleta no município de Ibimirim (PE). ....	43
<b>Figura 11.</b> Análise de componentes principais entre as propriedades do solo (a) e os diferentes usos do solo (b) no município de Ibimirim (PE). ....	44

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS .....	13
2.1 Geral .....	13
2.2 Específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	14
3.1 Características gerais da Caatinga .....	14
3.2 Solos salinos.....	15
3.3 Banco de sementes .....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
4.1 Área de estudo.....	18
4.2 Coleta dos dados .....	19
4.2.1 Fitossociologia do componente arbóreo adulto.....	19
4.2.2 Banco de sementes do solo .....	20
4.2.3 Entomofauna edáfica .....	20
4.2.4 Atributos químicos do solo .....	21
4.3 Análise dos dados.....	23
4.3.1 Fitossociologia do componente arbustivo-arbóreo adulto .....	23
4.3.2 Banco de sementes do solo.....	23
4.3.3 Entomofauna edáfica .....	23
4.3.4 Atributos químicos do solo .....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1 Florística e fitossociologia do componente arbóreo adulto.....	24
5.2 Banco de sementes do solo.....	26
5.3 Entomofauna do solo .....	31
5.4 Componentes Químicos do Solo.....	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
7. REFERÊNCIAS.....	46

## INTRODUÇÃO

A floresta seca da Caatinga é um dos maiores e mais biodiversos blocos de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) do mundo (Dexter et al., 2018). É caracterizada por altos níveis de radiação solar, elevadas taxas de evapotranspiração e baixas taxas de precipitação tendo como consequência a diminuição da água no solo (Schmidt; Lima; Jesus, 2018). Devido à baixa precipitação, agricultores das regiões como o Submédio São Francisco, realizam a irrigação do solo para manutenção dos seus cultivos agrícolas (Simões et al., 2021).

Como medida para mitigar essa situação foi construído, em 1958, Reservatório Engenheiro Francisco Saboya, conhecido como Açude Poço da Cruz, parte do Projeto de Interligação de Bacias Hidrográficas do rio São Francisco com o Nordeste Setentrional, em Ibimirim, estado de Pernambuco. (Dnocs, 2024). A construção do reservatório, gerenciado pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), teve como finalidade principal a irrigação das terras de sua jusante dos rios, o perímetro irrigado de Moxotó. (Dnocs, 2024)

A Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas – IFOCS (atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS) utilizava a água do reservatório para captação e posterior distribuição nos plantios agrícolas da região por meio da irrigação por sulcos, sem que houvesse um sistema de drenagem eficiente, assim contribuindo para que ocorresse a salinização dessas áreas (Dnocs, 2024). Essas irrigações, muitas vezes realizadas de forma incorreta, principalmente em solos que têm predisposição à alta concentração de sais solúveis, podem resultar na salinidade do solo, conseqüentemente, afetando a capacidade produtiva e fisiológicas das culturas presentes (Salvati; Ferrara, 2015; Kim et al., 2016; Santos et al., 2019; Yusuf et al., 2020).

A salinização do solo é um problema global que ameaça a produtividade e a sustentabilidade agrícola, além de contribuir com a degradação do ambiente (Xu et al., 2019; Safdar et al., 2019; Justo et al., 2021). Em regiões áridas e semiáridas, a salinidade dos solos é mais pronunciada devido a condições ambientais específicas.

A combinação de baixa precipitação pluviométrica e redução de atividade bioclimática contribui para a formação de solos com altas concentrações de sais. Além desses fatores naturais, a falta de sistemas de drenagem adequados em áreas irrigadas e o uso de águas de qualidade também são determinantes importantes para

o aumento da salinidade dos solos (Butcher, 2016).

A salinização secundária pode resultar em práticas inconvenientes no manejo do solo. O processo de salinização antrópica geralmente ocorre devido ao uso incorreto de métodos de controle e à aplicação de águas de baixa qualidade. Esses fatores levam ao acúmulo de sais no solo, exacerbando a salinidade (Pedrotti, 2015). Áreas salinizadas em decorrência das práticas agrícolas, são ambientes favoráveis para espécies exóticas invasoras se introduzirem, adaptando-se e exercendo dominância sobre a biodiversidade nativa (Santos; Silva, 2020).

Uma das espécies com maior potencial de invasão na Caatinga, é a *Prosopis juliflora* (Sw) D.C, conhecida popularmente como Algaroba. A espécie é oriunda do Peru na América do Sul, mas se desenvolveu muito bem na Caatinga, devido a sua característica de resistência a seca. A espécie é perene, arbórea, pertencente a família Fabaceae, facilmente encontrada as margens dos rios e em áreas de pastagens, e possui múltiplos usos, tanto da madeira, como da vagem (Santos et al., 2019).

Nascimento et al. (2008) em estudo na Caatinga, relataram que em ambientes com a presença de *P. juliflora*, principalmente em ambientes ciliares, as espécies nativas lenhosas apresentavam maior mortalidade, redução da altura, da área foliar e do diâmetro do caule, não havendo o desenvolvimento correto das copas.

As áreas selecionadas para o estudo têm histórico de utilização com a agricultura irrigada. E conforme se intensificava a utilização da irrigação para o cultivo da atividade agrícola sem o manejo adequado da irrigação e utilização de água de baixa qualidade (Silva; Neves, 2020). Ocasinou-se a salinização do solo e posteriormente o abandono dessas áreas. A partir disso, com a introdução da espécie *P. juliflora* nessa região, observa-se o crescimento espontâneo da espécie nessas áreas. No entanto, tem locais que essa espécie ainda não perpetuou.

Nesse contexto, tendo em vista a grande presença de indivíduos da espécie *P. juliflora* na área da presente pesquisa, surgiram os seguintes questionamentos: (1) A espécie *P. juliflora* atua na recuperação dos solos salinizados? e (2) A espécie contribui com o aumento da diversidade taxonômica de espécies nativas, após a sua atuação na fitorremediação e corte?

Ademais, as seguintes hipóteses: A colonização espontânea por *P. juliflora* em solos salinos de ambientes ciliares da Caatinga e sua posterior retirada ocasiona: 1)

a diminuição da salinidade do solo de ambientes em processo de desertificação por salinização em áreas ciliares da Caatinga; e 2) um possível aumento da diversidade taxonômica de espécies nativas e facilitação dos processos de recuperação de áreas salinizadas em ambientes ciliares na caatinga 3) Conseguir fazer com que solos salinizados diminuam a sua sodicidade.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Verificar o potencial de *P. juliflora* como recuperadora de solos salinos do semiárido em áreas de colonização espontânea.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar a estrutura fitossociológica da espécie *P. juliflora* em áreas ciliares de solo salino na Caatinga;
- Conhecer a diversidade das espécies em regeneração no banco de sementes em áreas ciliares de solo salino com presença de *P. juliflora* e após seu corte.
- Avaliar as alterações na diversidade da entomofauna edáfica em áreas ciliares de solo salino com presença de *P. juliflora* e após seu corte;
- Avaliar as alterações nas propriedades químicas de solo salino, em área ciliar em Caatinga, com e sem a colonização espontânea por *P. juliflora*.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Características gerais da Caatinga

As Florestas Tropicais Sazonais Secas (FTSS) cobrem cerca de um terço da extensão total das florestas tropicais no planeta, sendo identificadas como áreas prioritárias para a conservação devido à sua rica biodiversidade (Sousa et al., 2019). Além disso, esse bioma é um corredor ecológico, que liga a Floresta Amazônica ao Cerrado e à Mata Atlântica com grande importância, mas negligenciada em relação à conservação (Szyja et al., 2019).

Dentro das FTSS, encontra-se a Caatinga, domínio fitogeográfico característico do semiárido brasileiro, destacando-se como uma das maiores áreas dentro dessa categoria de cobertura florestal da América do sul (Silva et al., 2019). É um bioma fundamental para a região Nordeste do país, apresentando espécies endêmicas e ambiente de diversas comunidades tradicionais que dependem de seus recursos naturais para a sobrevivência (Silva; Leal; Tabarelli, 2018).

A vegetação da caatinga é caracterizada pela diversidade do ambiente, por uma variedade em tipos de vegetação, sendo elas caducifólia, xerófila e espinhosa, variando com as características de solos e a disponibilidade de água (Velloso et al., 2002). Os solos dessa região são classificados como solos rasos e pedregosos, arenosos e profundos. Abrange ainda uma vasta variedade de fitofisionomias, que incluem desde espécies herbáceas até arbóreas, distribuídas ao longo do bioma, desde áreas abertas e planas até a formação de afloramentos rochosos (Pereira et al., 2018).

Regiões áridas, semiáridas e subúmidas ficam suscetíveis ao processo de desertificação, resultado de diversas condições presentes no ambiente, com ênfase para as variações climáticas e atividades antrópicas (Bohn et al., 2021; Santos et al., 2022; Silva et al., 2023). A degradação ambiental dos solos, é um problema global significativo, pois atinge a cobertura vegetal e a composição dos atributos físicos, químicos e biológicos podendo comprometer os serviços ecossistêmicos, os meios de subsistência e a qualidade de vida (kumar et al., 2022).

A região semiárida tem se destacado pela presença significativa de extensas áreas com solos salinizados. Essa condição é atribuída à natureza física e química dos solos, ao déficit hídrico e a elevada taxa de evaporação, com ênfase em áreas

destinadas à agricultura irrigada (Ribeiro; Ribeiro Filho; Jacomine, 2016). Sendo assim, é primordial estudos que vissem a recuperação desses solos, seja por fitorremediação, manejo do solo, entre outros.

### 3.2 Solos salinos

O solo é considerado salino quando a concentração de sais solúveis nele é alta o suficiente para afetar adversamente as plantas e os processos biológicos e químicos do solo, o excesso de sais de sódio afeta tanto as propriedades físicas como químicas e pode ocorrer naturalmente ou antropicamente (Daliakopoulos et al., 2016).

O processo de salinização natural ocorre devido à baixa precipitação pluvial, evapotranspiração elevada e presença de camadas impermeáveis (Melo; Alleoni, 2009). Já o processo antrópico, se dá pela utilização de água contendo elevados quantitativos de sais (Daliakopoulos et al., 2016), prática de irrigação sem sistema de drenagem e a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas com alta concentração de sais (Ribeiro, 2010; Pedrotti, 2015).

Esses solos são encontrados com frequência em regiões áridas e semiáridas (Carvalho et al., 2015). No Brasil, é mais comum no Nordeste, onde 52% de sua área se encontra no semiárido. A precipitação pluviométrica limitada nessas regiões, associada à baixa atividade bioclimática, drenagem deficiente e menor grau de intemperização, conduzem à formação de solos com alta concentração de sais (Holanda et al., 2007).

De acordo com Lima Junior e Silva (2010), os efeitos negativos da salinidade estão relacionados ao crescimento e rendimento das plantas. Dessa forma, mesmo considerando espécies nativas, as quais são adaptadas ao meio, a salinidade pode impedir a germinação ou a sobrevivência em situações mais extremas, das espécies florestais (Ribeiro et al., 2017). Pode, inclusive, prejudicar a própria estrutura do solo, pois a absorção de sódio, pode, conseqüentemente, diminuir sua permeabilidade. Assim, diferentes estratégias são adotadas para recuperação de áreas que apresentam elevada concentração de sais, tais como o uso de corretivos químicos, lavagem do solo e técnicas de biorremediação (Carreiro, 2017).

### 3.3 Banco de sementes

O banco de sementes do solo é constituído por sementes viáveis, que podem estar em estado de dormência real ou induzida, encontradas na superfície do solo, no

interior deste, ou associadas á camada de serapilheira, em uma determinada área, em um momento específico (Lopes et al., 2006; Oliveira et al., 2018). Podendo ser reconhecido como um reservatório de importância não somente para sementes de espécies nativas, mas também de matéria orgânica, insetos, meso e microfauna do solo, microrganismos e nutrientes (Miranda Neto et al., 2010; Martins et al., 2017).

O banco de sementes do solo influencia diretamente na manutenção dos ecossistemas florestais ao atuar no armazenamento e dinâmica das sementes no solo. Nele estão presentes as gerações futuras da composição florestal, que irão restaurar a saúde das florestas quando submetidos a perturbações. A sua principal fonte de material em ecossistemas florestais é a chuva de sementes, dispersando sementes a pequenas e grandes distâncias da árvore genitora (Dos Santos et al., 2018; Lu et al., 2019).

Os fatores ambientais podem influenciar na composição e densidade do banco de sementes do solo, como temperatura, precipitação, umidade e luminosidade, com efeitos sujeitos a variação de acordo com o relevo das áreas e da composição florestal. Em ambientes de relevo acidentado o acúmulo de sementes tende a ser heterogêneo, com maior concentração de sementes geralmente na área inferior do terreno, devido às ações do vento e/ou erosão (Eriksson, 1992; Zou et al., 2021; Xin et al., 2021).

A composição florestal apresenta efeitos principalmente na diversidade e riqueza de espécies do banco de sementes do solo. Os povoamentos florestais heterogêneos, como florestas naturais, tendem a apresentar maior diversidade de espécies, por agrupar diversas espécies florestais com diferentes formas de dispersão (zoocoria, autocoria e anemocoria) e atender vários agentes dispersores, o que favorece a riqueza de espécies do banco de sementes do solo (Gonçalves et al., 2021; Kassa et al., 2020).

A entrada de luz no povoamento florestal tem influência direta na germinação das sementes, possibilitando condições ideais para o desenvolvimento de muitas espécies. Isso é possível por meio de abertura de clareiras, seja por fatores naturais ou intervenção antrópica, no qual favorece a germinação das espécies, reduzindo a densidade e diversidade de espécies no banco de sementes do solo (Lu et al., 2019; Zhao et al., 2021; Zou et al., 2021). Assim, avaliar o banco de sementes em clareiras é uma forma de identificar a velocidade de germinação e persistência das espécies.

A amostragem do banco de sementes do solo e monitoramento de emergência das plântulas ao longo do tempo são técnicas eficientes para identificar a abundância e diversidade de espécies no solo florestal, a velocidade de germinação e a viabilidade das sementes (Golos et al., 2016; Miao et al., 2016), e assim estimar as populações florestais futuras.

A salinidade afeta o banco de sementes do solo, prejudicando principalmente a germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas. A alta concentração de sais no solo pode causar dois tipos de estresse nas plantas: osmótico e iônico, estresse osmótico ocorre porque a salinidade reduz o potencial hídrico do solo, dificultando a absorção de água pelas sementes (Munns, Tester. 2008). Já o estresse iônico resulta do acúmulo de íons, como sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ), dentro das células, o que prejudica processos metabólicos essenciais (Munns, Tester. 2008).

De acordo com Munns e Tester (2008), essas condições não apenas inibem a germinação, mas também podem induzir a dormência secundária das sementes e afetar a amplitude do desenvolvimento inicial das plântulas, proporcionando suas chances de sobrevivência em solos salinizados. Além disso, o aumento da salinidade global, principalmente em terras irrigadas, intensifica esse problema, comprometendo a produtividade agrícola em áreas afetadas pela salinização.

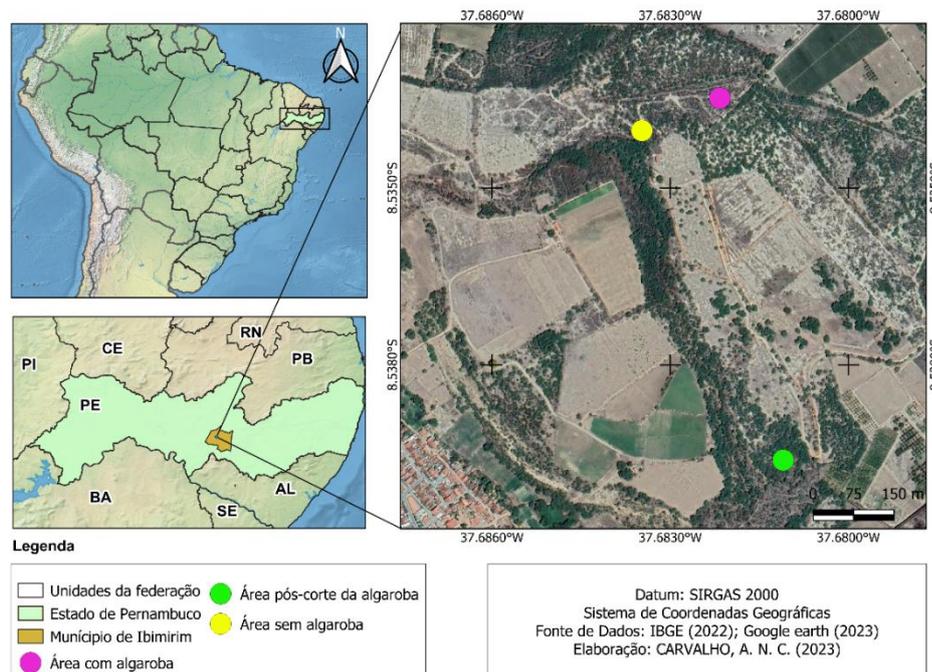
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Ibimirim, região semiárida do estado de Pernambuco (8° 32' 29''S e 37° 41' 25''W) (Figura 1). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), o município de Ibimirim possui uma temperatura média anual de 26°C, cuja as temperaturas mais elevadas ocorrem geralmente nos meses de novembro e dezembro, com registros atingindo até 38°C, com mínimas ocorrendo nos meses de julho e agosto, registrando aproximadamente 20°C. Apresenta precipitação média anual de 500 mm, onde a maior incidência de chuva concentra-se no período de dezembro a março, e os menores índices de agosto a outubro (INMET, 2023).

O solo dessa região foi classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (Embrapa, 2018), como Neossolo Flúvico Sódico salino (Fluvisol). Na classificação de Köppen, o município de Ibimirim apresenta clima semiárido quente (BSh).

**Figura 1.** Localização das áreas de estudo no Município de Ibimirim, estado de Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autor (2023).

Nessa região, encontra-se o reservatório Engenheiro Francisco Saboia, conhecido como Poço da Cruz, pertencente à bacia hidrográfica do rio Moxotó.

Segundo Bezerra et al. (2019), essa área do estudo foi convertida em perímetro de irrigação utilizando da captação da água para irrigação dos plantios agrícolas da região, onde se encontra a Estação de Agricultura Irrigada, unidade pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE.

A pesquisa foi realizada em uma área de aproximadamente 10 hectares, sendo utilizada para agricultura irrigada pertencente a estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAll Ibimirim), situado as margens de uma área ciliar do rio moxotó nesta propriedade, onde se tem a presença da espécie *Prosopis juliflora* ao longo das suas margens e áreas de baixada adjacentes. No ambiente de pesquisa foram definidas as seguintes áreas: área ausência de *P. juliflora* (SPP); área com presença de *P. juliflora* (CPP); área onde ocorreu o corte e queima de *P. juliflora* (PCP).

A área SPP, trata-se da área ao longo das margens do rio onde a espécie *P. Juliflora* ainda não está colonizando espontaneamente o solo, sendo composta por pequenos núcleos praticamente sem cobertura vegetal e muitas vezes com solo totalmente exposto e com visíveis sais presentes na superfície, sendo entremeados esses núcleos pelos demais trechos com presença da algaroba, sendo considerada como a área original antes da entrada da *P. juliflora*.

A área CPP, refere-se aos trechos ao longo da área ciliar onde a *P. juliflora* já conseguiu se estabelecer e colonizar o solo, estando esses indivíduos já adultos e em fase reprodutiva, com solo coberto por suas copas, em sua maioria. Essa área também pode ser tratada como pequenos núcleos, no caso, com vegetação dominante composta pela *Prosopis*. PCP trata-se da área em que recentemente esteve na condição descrita para CPP, porém, houve o manejo comumente usados na região nos locais onde ocorrem essa espécie, que é o corte dos indivíduos de *P. juliflora* e posteriormente a retirada da madeira da área para venda, sendo deixados apenas os resíduos do corte, ou seja, galhos, folhas e as cepas. Nesta área, após a retirada da madeira de *P. juliflora*, foi realizada a queimada, também comumente utilizada na região como forma de limpeza da área.

## 4.2 Coleta dos dados

### 4.2.1 Fitossociologia do componente arbóreo adulto

Para caracterização dos dados vegetacionais, foram instaladas 20 parcelas de 5 m x 5 m (25 m<sup>2</sup>) de forma aleatória na área com a presença da *P. julliflora* (CPP), sendo essa a única área de mensuração, onde os indivíduos se enquadravam dentro

da metodologia adotada. Utilizando uma fita métrica e/ou vara graduada, foram mensurados todos os indivíduos vivos arbustivos-arbóreos adultos com Circunferência no Nível do Solo (CNS)  $\geq 9$  cm e altura total  $\geq 1$  m (Rodal; Sampaio; Figueiredo, 2013).

A identificação das espécies em campo foi realizada com o auxílio de guias taxonômicos e, quando necessário, material foi coletado para posterior identificação em herbário especializado para fins de confirmação, utilizando-se o sistema de classificação APG IV (Byng, 2016). Para a confirmação dos nomes científicos e autores o material foi direcionado para o herbário Sérgio Tavares pertencente ao Departamento de Ciência Florestal da UFRPE onde foi depositado o material e feito a consulta à Lista de espécies da Flora do Brasil.

#### 4.2.2 Banco de sementes do solo

As amostras dos bancos de sementes do solo foram coletadas nas áreas CPP e PCP. Para a coleta foi utilizado um gabarito de 20 cm x 20 cm, a uma profundidade de 5 cm, sendo coletadas 10 amostras de forma aleatória para cada área tanto a CPP onde foi realizado a fitossociologia como na PCP.

Posteriormente, cada amostra foi acondicionada individualmente em sacos de polietileno de cor preta. As amostras foram transportadas para o viveiro florestal do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE e acondicionadas em bandejas plásticas de 27 cm x 33 cm x 20 cm. Após isso, foram realizadas irrigações manuais sempre que necessário para manter as condições ideais de germinação das sementes por um período de 13 semanas (Gross, 1990; Brown, 1992).

A identificação das espécies foi realizada por meio de consulta à bibliografia específica e por comparação com o material botânico depositado no Herbário Sérgio Tavares do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE. A confirmação dos nomes científicos, autores e verificação da forma de vida realizada por meio da Lista de Espécies da Flora do Brasil (2020).

#### 4.2.3 Entomofauna edáfica

As amostras da entomofauna edáfica foram coletadas em quatro parcelas de forma aleatória em cada área (CPP e PCP) no centro das parcelas utilizando armadilhas do tipo *pitfall* (Almeida; Ribeiro; Marinoni, 2003), com algumas adaptações. As armadilhas foram confeccionadas a partir de copos reciclados de garrafas PET e

apresentavam 10 cm de diâmetro por 15 cm de profundidade, e foram enterradas com a borda alinhada ao nível do solo, no centro de cada parcela (Figura 2).

**Figura 2.** Armadilha do tipo pitfall, instalada no centro de cada parcela.



Fonte: Autor (2023).

Em cada recipiente foi adicionado um líquido conservante (2mL de detergente + 200 ml água + 5g de sal). Foi instalada uma proteção acima de cada recipiente, confeccionada com material de policloreto de vinila (PVC), com dimensões de 15 cm de comprimento, 15 cm de largura e 5 cm de altura em relação ao solo. As armadilhas permaneceram no local pelo período de uma semana.

Os insetos capturados foram acondicionados em recipientes contendo álcool a 70%. Em seguida, foram encaminhados para o Laboratório de Proteção Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco para identificação, sendo classificados a nível de filo, classe e ordem utilizando chaves de identificação (Gallo et al., 2002), bibliografia especializada (Johnson; Triplehorn, 2015; Carrano-Moreira, 2014) e consulta a especialistas.

#### 4.2.4 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo foram avaliados nas três áreas de estudo (SPP, CPP e PCP), e em cada área foram selecionadas 10 parcelas em que estas possuíam a dimensão de 5x5 cm, sendo demarcado 5 pontos dentro da parcela, 4 pontos na extremidade e 1 ponto central. Foram coletados cinco amostras simples do solo em

cada parcela na camada 0-10 cm, 5 amostras de solo na camada 10-30 cm e 5 amostras de solo na camada 30-60 cm. Essas amostras foram homogeneizadas em recipiente de plástico, formando um total de 5 amostras compostas por camada em cada parcela

Após a coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e transportadas ao Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde foram submetidas aos processos de secagem ao ar, destorroamento e peneiramento em malha de 2 mm para a realização das análises químicas do solo.

Para a caracterização química do solo, o pH em água foi medido em uma mistura de solo na proporção de uma parte de solo para 40ml de água, conforme o método da EMBRAPA (2017). Esta análise ajuda a determinar a acidez ou alcalinidade do solo. Foi realizado também cátions trocáveis sendo extraído do solo usando acetato de amônio, esse procedimento avalia a quantidade de cátions disponíveis para troca no solo. A Capacidade de troca de cátions (CTC) foi determinada pelo método do acetato de sódio/acetato de amônio, que mede a capacidade do solo de reter e trocar cátions, um fator importante para a fertilidade. A Condutividade elétrica e pH da pasta saturada do solo sendo extraído foi obtido por vácuo. A condutividade elétrica, medida neste extrato, indica a quantidade de sais solúveis no solo, e para determinação dos cátions ânions solúveis  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e  $Na^+$  e  $K^+$  foram medidos por fotometria de emissão de chama.

A Relação de Adsorção de Sódio (RAS), foi calculado com base nos resultados das análises dos elementos solúveis, a RAS para avaliar o potencial de salinidade do solo. A Porcentagem de Sódio Trocável (PST) determinada a partir dos resultados das análises dos cátions trocáveis, a PST indica a proporção de sódio na capacidade total de troca de cátions, importante para avaliar a salinidade e a sodicidade do solo (Equação 1).

$$PST = \left( \frac{Na^+}{CTC} \right) \times 100 \quad (1)$$

Para a avaliação da solução do solo, foi preparada a pasta de saturação e, no extrato obtido, foram realizadas as medidas de pH e CE (condutividade elétrica) do

extrato de saturação. No mesmo extrato, foram realizadas as determinações dos íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  solúveis, calculando-se a relação de adsorção de sódio (RAS).

### 4.3 Análise dos dados

#### 4.3.1 Fitossociologia do componente arbustivo-arbóreo adulto

Para caracterização da estrutura da comunidade foram calculados, para cada espécie, os seguintes parâmetros fitossociológicos: Área Basal (AB), Frequência Absoluta (FA), Frequência Relativa (FR), Densidade Absoluta (DA), Densidade Relativa (DR), Dominância Absoluta (DoA), Dominância Relativa (DoR) e Valor de Importância (VI). Foram avaliados os índices de Diversidade de Shanon ( $H'$ ), Dominância de Simpson ( $C'$ ), e Equabilidade de Pielou ( $J'$ ) (Mueller–Dombois; Ellenberg, 1974). Todas as análises foram realizadas com auxílio do software R CORE TEAM, (2023).

#### 4.3.2 Banco de sementes do solo

Os dados foram organizados na planilha do programa Microsoft Excel versão 2205 onde avaliou-se a emergência das plantas por semana, durante todo o experimento. Também foi verificado a taxa de sobrevivência e mortalidade em relação ao número de indivíduos nas duas áreas.

#### 4.3.3 Entomofauna edáfica

Com a lista de classificação da entomofauna, foi calculada a frequência relativa e absoluta, dominância e constância, utilizando o programa Microsoft Excel Versão 2205 enquanto a análise faunística foi avaliada pelo software ANAFU (2003).

#### 4.3.4 Atributos químicos do solo

Os dados foram empregados no teste de Shapiro-Wilk e trabalhados, quando necessários, para obtenção da normalidade de sua distribuição. Em seguida, foram utilizados no teste de variância de Fisher para averiguar os efeitos das áreas representados pelos usos do solo e a profundidade de coleta, assim como sua interação. O teste de média de Tukey foi inserido nas análises para testar as diferenças existentes entre cada um dos tratamentos avaliados. Todas as estatísticas foram realizadas considerando 5% de probabilidade. A análise de componentes principais foi empregada para avaliar as propriedades do solo que mais representaram cada um dos usos do solo. Para as análises estatísticas foram utilizados os softwares

Sisvar 5.6 e Statistica 12.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Florística e fitossociologia do componente arbóreo adulto

Foram inventariados 267 indivíduos arbustivos-arbóreos adultos na área CPP. Os 267 indivíduos são pertencentes a três gêneros e duas famílias, Fabaceae e Malvaceae. As espécies *P. juliflora* e *Parkinsonia aculeata* L. são espécies exóticas, enquanto que *Melochia pyramidata* L. são nativa do Brasil (Tabela 1).

**Tabela 1.** Parâmetros fitossociológicos do componente arbóreo-arbustivo na CPP, lotes da estação experimental de Ibimirim-PE.

FAMILIA/Espécie	Ni	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VI
<b>FABACEAE</b>								
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	251,00	502,00	94,00	100,00	76,90	8,70	90,90	261,80
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	15,00	30,00	5,60	25,00	19,20	0,90	9,00	33,80
<b>MALVACEAE</b>								
<i>Melochia pyramidata</i> L.	1,00	2,00	0,40	5,00	3,80	0,00	0,10	4,40
<b>TOTAL</b>	<b>267</b>	<b>534</b>	<b>100</b>	<b>130</b>	<b>99,9</b>	<b>9,6</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

Em que: Ni= número de indivíduos; DA= densidade absoluta; DR= densidade relativa; FA= frequência absoluta; FR= frequência relativa; DoA= dominância absoluta; DoR= dominância relativa; VI= valor de importância.

Nas áreas SPP e PCP não foram encontrados indivíduos do componente arbóreo-adulto, com isso não teve espécies a serem representadas no levantamento. Assim, observa-se que a área onde a *P.juliflora* ainda não colonizou, não foi criado ambiente para dar suporte a colonização de indivíduos lenhosos nativos, o que demonstra que *P.juliflora* possivelmente tenha colaborado na entrada destes indivíduos, já que foi observada na área CPP. Na área pós corte da *P.juliflora*, como essa foi acometida por queimada, esse fator pode ter interferido negativamente na observação dos indivíduos lenhosos nativos, que já estavam presentes na área com *P.juliflora* e que provavelmente se manteriam na área após o corte desta.

A espécie *P. juliflora* foi a que mais se destacou, representando 94% dos indivíduos amostrados, tendo maior densidade, frequência e dominância na área, seguida de *Parkinsonia aculeata* L. e *Melochia pyramidata* L (Tabela 1). Desse modo, considerando todos os parâmetros avaliados, *P. juliflora* foi classificada como a espécie de maior valor de importância.

Os resultados demonstram que essas espécies consideradas invasoras tem mais facilidade em se adaptar em solos salinizados, e acabam predominando e colonizando

esse ambiente, por estarem nessa condição acabam reduzindo a participação de espécies nativas. Porém, como foi observado na área em que a *P. juliflora* ainda não colonizou, esta área também ainda não apresenta condições de ser colonizada por outras espécies nativas arbustivo-arbóreas. Trabalho realizado por Clement et al. (2020), avaliou o impacto da espécie *P. juliflora* em áreas de pastagem na região de turkana no Quênia, concluíram que a colonização dessa espécie cria impactos negativos na regeneração e estabelecimento de espécies nativas da região. Patnaik (2017) cita que a *P. juliflora* tem alta facilidade em se perpetuar em solos com teores elevados de concentração de sais em solos alcalinos.

De acordo com Hundessa e Fufa (2016) a *P. juliflora* demonstra a capacidade de reprimir o crescimento das gramíneas sob sua copa, contribuindo para o aumento na biodiversidade da espécie. Isso ocorre devido ao impedimento da germinação das sementes e a redução do crescimento das plantas em aspectos como raízes, brotamento, área foliar, diâmetro do caule e altura da planta. Conseqüentemente, a densidade vegetal nas áreas invadidas foi inferior em comparação com as áreas não invadidas. Kumar e Mathur (2014) concluíram que a densidade de espécies vegetais diminui à medida que a densidade de *P. juliflora* aumenta.

Pesquisa realizada por Kumar e Mathur (2014), observou uma maior riqueza específica e diversidade em áreas invadidas por *P. juliflora*; os autores atribuem seus resultados ao número específico de espécies herbáceas que coexistem com *P. juliflora*, além da influência da luz e perturbações que a área invadida havia sido exposta.

Wilgen et al. (2017) mencionam que a presença de espécies da *P. juliflora* resulta na redução da densidade, riqueza e diversidade florística de plantas nativas; como exemplo, destacaram a diminuição de espécies de árvores nativas de oito para três quando as invasões duplicaram em densidade. Além disso, a cobertura de gramíneas perenes e plantas nativas foi moderada.

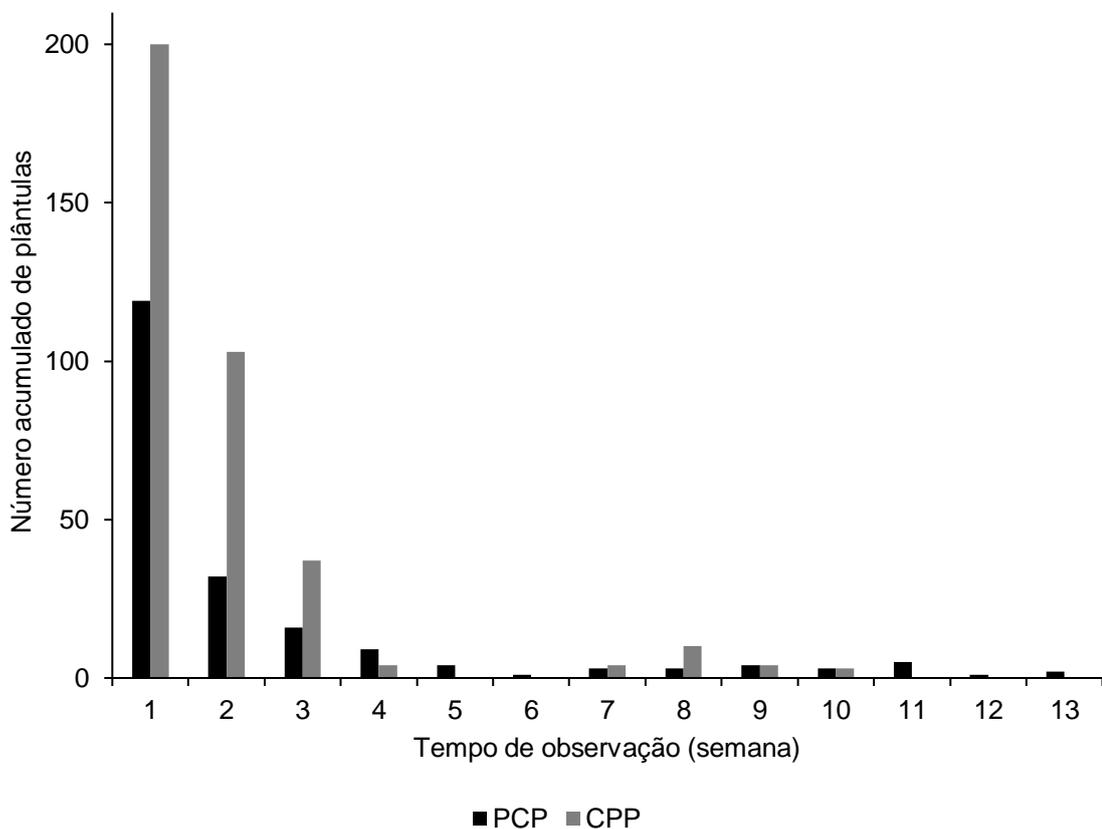
Os estudos supracitados em conjunto com os presentes resultados em termos de florística de indivíduos adultos, nos permite constatar que a *P. juliflora* é uma espécie que apresenta impacto negativo na florística quando presente em áreas ciliares e de várzeas em ambiente semiárido, principalmente em áreas não salinas. Porém, sua presença nas áreas de solo salino pode ser usada como fator colaborativo na melhoria das condições ambientais para que espécies mais resistentes possam iniciar

sua colonização ainda com a *P.juliflora* presente, como observado com a chegada de outras espécies como *M. pyramidata*. Posteriormente a observação do início da colonização na área, é indicada a retirada da *P.juliflora*, corte de troncos e queima pontual de tocos ou aplicação pontual de herbicida, para que não persista com rebrotas e não interfira no estabelecimento de novos regenerantes nativos na área

## 5.2 Banco de sementes do solo

A emergência das sementes coletadas nas duas áreas de estudo (CPP e PCP), começou no segundo dia após a irrigação do experimento. Nas duas áreas, a maior incidência de sementes emergidas foi nas três primeiras semanas de acompanhamento, com o pico ocorrendo logo na primeira semana (Figura 3).

**Figura 3.** Número de sementes emergidas semanalmente no banco de semente do solo das áreas de estudo, Ibimirim-PE.



Fonte: Autor (2023)

Na comparação entre as duas áreas, pode-se observar que apesar da CPP ter tido o maior número de emergência nas primeiras semanas, não apresentou emergência nas semanas 5, 6, 11, 12 e 13. Enquanto que a PCP teve número inferior de sementes

emergidas nas primeiras semanas, mas se manteve constante, com emergência durante todo período do experimento.

As duas áreas estudadas mostraram um total de 317 indivíduos, distribuídos em 12 famílias e 17 espécies botânicas como mostra na Tabela 2.

**Tabela 2.** Lista de famílias e espécies nas duas áreas do banco de sementes provenientes do município de Ibimirim - PE.

FAMÍLIA/Espécie	Nº DE INDIVÍDUOS	
	PCP	CPP
<b>ACANTHACEAE</b>		
<i>Ruellia Paniculata</i> L.	-	8
<b>AMARANTHACEAE</b>		
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	3	108
<i>Amaranthus viridis</i> L.	1	8
<b>ASTERACEAE</b>		
<i>bidens riparia kunth</i>	-	4
<b>BORAGENACEAE</b>		
<i>Heliotropium indicum</i> L.	9	8
<b>EUPHORBIACEAE</b>		
<i>Astraea surinamensis</i> (Miq.) O.L.M.Oliveira & Cordeiro	13	3
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	-	1
<b>LOGANIACEAE</b>		
<i>Spigelia anthelmia</i> L.	-	4
<b>MALVACEAE</b>		
<i>Corchorus hirtus</i> L.	2	-
<i>Waltheria indica</i>	1	-
<b>NYCTAGINACEAE</b>		
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	8	2
<b>ONAGRACEAE</b>		
<i>Ludwigia erecta</i> (L.) H.Hara	-	8
<b>POACEAE</b>		
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd..	24	33
<i>Panicum sp</i>	1	12
<b>PORTULACACEAE</b>		
<i>Portulaca elatior</i>	1	-
<i>Portulaca oleracea</i> L.	2	6
<b>PHYLLANTHACEAE</b>		
<i>Phyllanthus niruri</i> L.	-	3
<b>DESCONHECIDA</b>		
Não identificada 1	7	14
Não identificada (sp13)	7	-
Não identificada (sp16)	3	13
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>235</b>

Fonte: Autor (2023)

A área PCP apresentou um total de 82 indivíduos, distribuídos em 7 famílias, 14

espécies sendo dessas três espécies não identificadas. Destacando-se a espécie herbácea *Dactyloctenium aegyptium* como a que apresentou a maior abundância na área, se diferenciando da *Panicum sp* que teve a ocorrência de apenas um indivíduo, mesmo as duas fazendo parte da mesma família botânica Poacea.

Mostrando assim, a importância da família quanto a abundância dessas espécies nesse estágio sucessional em que a vegetação se encontra. Além de mostrar o quanto a família Poacea é importante para recuperação florestal e possui uma importância quanto a florística na região (Silva *et al.*, 2019). Nesse contexto, as espécies pertencentes a família Poaceae podem ter sido beneficiadas pela existência de áreas abertas resultantes da intervenção antrópica no fragmento, onde predominam espécies exóticas. Esses ambientes oferecem condições ideais para o desenvolvimento dessas plantas (Campo; Jardim, 2020)

A área CPP apresentou um total de 11 famílias, 16 espécies, sendo duas classificadas como não identificada. Família Amaranthaceae com duas espécies foi a que teve o maior número de indivíduos na área sendo as espécies *Alternanthera tenella Colla* e *Amaranthus viridis* L. A primeira espécie pode ter se destacado em comparação a segunda pelo fato desses indivíduos em região no semiárido apresentarem uma maior taxa de produção e dispersão de sementes como forma de sobrevivência (Alves *et al.*, 2017).

Pode-se notar que no banco de sementes das duas áreas não teve a ocorrência de nenhum indivíduo de *P. juliflora*. Esse fato pode ter ocorrido devido a semente da espécie apresentar dormência, dificultando sua germinação no banco. O percentual limitado de germinação de sementes de espécies arbóreas e arbustos pode ser atribuído ao fato de que muitas dessas espécies são propágulos com mecanismos de dormência, impedindo sua germinação imediata. Isso caracteriza a falta de uniformidade na germinação no ambiente da Caatinga, que é viabilizada apenas sob condições adequadas (Santos *et al.*, 2020).

O banco de sementes teve destaque para presença de plantas herbáceas, sub-arbustivas e arbustivas mostrando a importância das espécies no processo inicial do estágio de colonização e sucessão ecológica na recuperação de áreas degradadas. Ribeiro, Bakke e Souto (2017) observaram que a elevada incidência de plantas herbáceas na Caatinga está diretamente ligada ao seu ciclo de vida curto e à capacidade de produzir um grande número de sementes, resultando em novas sementes prontas

para germinar rapidamente.

A variabilidade no número de espécies herbáceas na Caatinga é influenciada por fatores como a sazonalidade das chuvas, as características do substrato e o micro-habitat (Oliveira, Prata; Pinto, 2018). Medeiros et al. (2015) explicaram que a prevalência de espécies herbáceas em comparação com as arbóreas ocorre devido a uma série de fatores, entre eles, estão a predação por roedores e herbívoros que frequentemente se alimentam de sementes presentes no solo, mas permanecem nativas por vários meses, dificultado o processo de germinação.

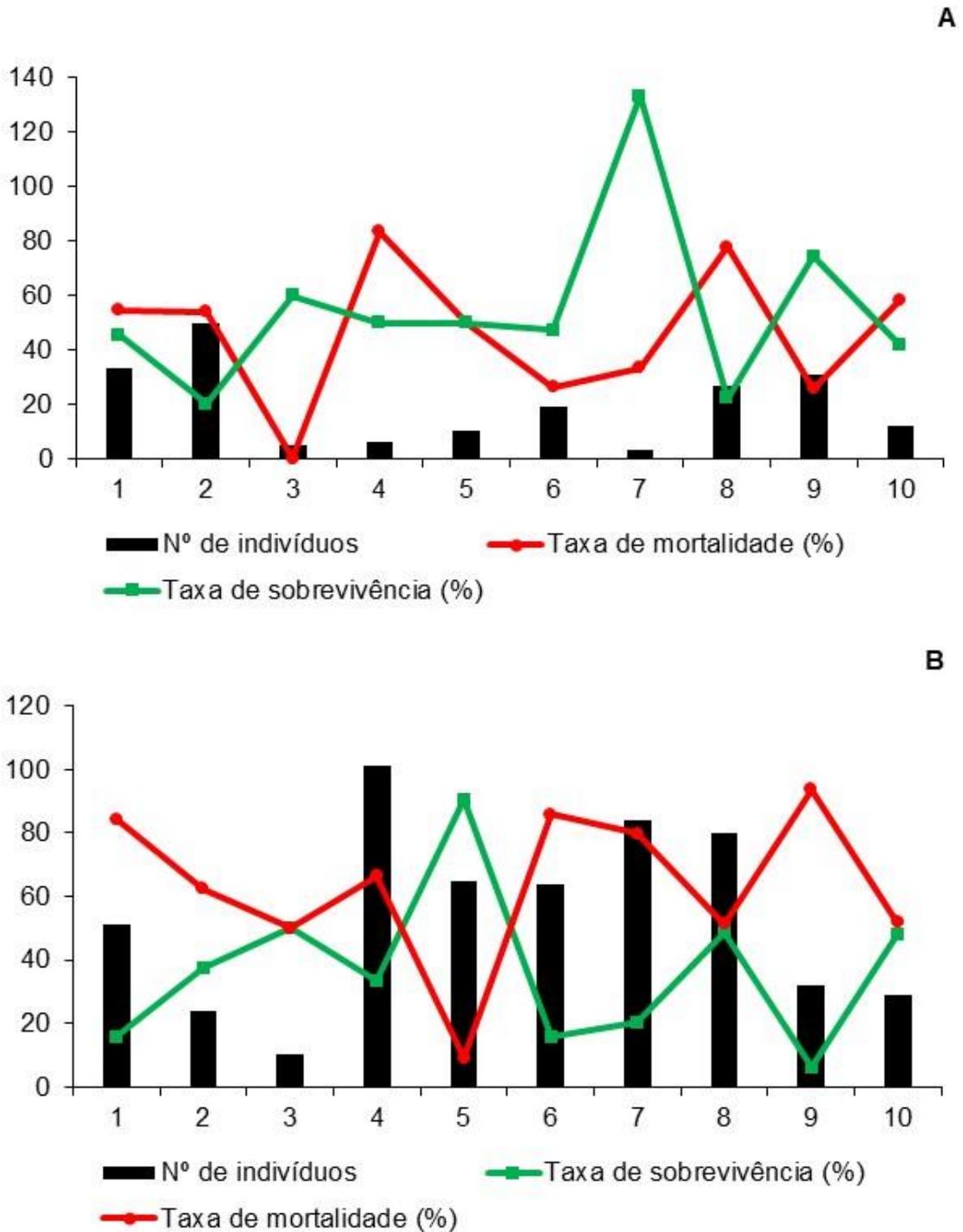
Apesar da ausência de diferença estatística nas áreas a CPP apresentou uma maior diversidade no índice de Shannon-Wiener  $H'$  (2,49) em comparação a PCP com  $H'$  (2,51) e a uniformidade de Pielou nas duas áreas mostrou a uniformidade com  $J'$  0,9. O índice de diversidade encontrado por Pegado et al. (2006), mostrou que a composição e estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da Caatinga avaliando os efeitos da invasão biológica de *P. juliflora* foi superior ao encontrado no presente trabalho ( $H'$  2,81), enquanto a equabilidade  $e'$  foi baixa (0,79).

A taxa de mortalidade no banco de sementes mostra que as espécies emergidas, não permaneceram ao longo da avaliação mostrando que esses indivíduos não se adaptaram aos fatores bióticos e abióticos presente no local. As duas áreas PCP e CPP tiveram essa porcentagem de mortalidade maior que a de sobrevivência, na CPP a ocorrência foi maior que 50%.

O fato também da maioria das espécies encontradas serem herbáceas mostrando o seu ciclo de vida curto. Na sucessão ecológica, as plantas herbáceas desempenham um papel crucial, contribuindo significativamente para a manutenção da umidade do solo. Elas desempenham essa função de reter sementes de outras espécies, que se entrelaçam com suas raízes, conforme destacado por Alves et al. (2018).

O número dos indivíduos caracterizado nas duas áreas foram de 736 no total, sendo desse valor 441 indivíduos mortos e 280 vivos. Com isso, mostra uma porcentagem que os indivíduos mortos foi superior aos indivíduos vivos com 49,49% na PCP e 63,70% na CPP (Figura 4).

**Figura 4.** Taxa de mortalidade e sobrevivência em relação Número de indivíduos por parcela amostrada semanalmente no banco de semente do solo nas áreas de estudo, sendo A (PCP) e B (CPP), Ibimirim-Pe.



Fonte: Autor (2023)

### 5.3 Entomofauna do solo

Foram capturados por meio da armadilha *pitfall* 840 indivíduos na área PCP e 642 indivíduos na CPP. Os exemplares amostrados foram classificados em nível de Ordem e Classe, mostrando assim que entre as áreas estudadas a área que teve o corte de *P. juliflora* foi a que apresentou a maior incidência de artrópodes do solo, com 56,68% a mais de indivíduos nesta última (Tabela 3).

**Tabela 3.** Número de indivíduos e frequências da entomofauna do solo ocorrentes nas áreas PCP e CPP em ambiente ciliar no município de Ibimirim -PE.

Espécie	Classificação	PCP			CPP		
		Ni	Fa	Fr (%)	Ni	Fa	Fr (%)
MOLUSCO	Filo	0,0	0,0	0,0	3,0	25,0	50,0
CRUSTACEA	Subfilo	0,0	0,0	0,0	1,0	2,5	2,5
ARANEAE	Classe	7,0	75,0	18,8	6,0	50,0	18,0
DIPLOPODE	Classe	6,0	75,0	18,8	2,0	25,0	50,0
COLEOPTERA	Ordem	80,0	100,0	25,0	43,0	100,0	36,0
DIPTERA	Ordem	28,0	100,0	25,0	4,0	25,0	9,0
HEMIPTERA	Ordem	5,0	50,0	12,5	6,0	50,0	18,0
HYMENOPTERA	Ordem	69,0	100,0	25,0	49,0	75,0	27,0
LEPIDOPTERA	Ordem	3,0	50,0	12,5	1,0	25,0	9,0
MANTODEA	Ordem	0,0	0,0	0,0	1,0	25,0	9,0
COLLEMBOLA	Ordem	640,0	100,0	25,0	525,0	100,0	36,0
ORTHOPTERA	Ordem	2,0	25,0	6,3	1,0	50,0	18,0
<b>Total</b>		<b>840,0</b>	<b>400,0</b>	<b>168,8</b>	<b>642,0</b>	<b>277,5</b>	<b>282,7</b>

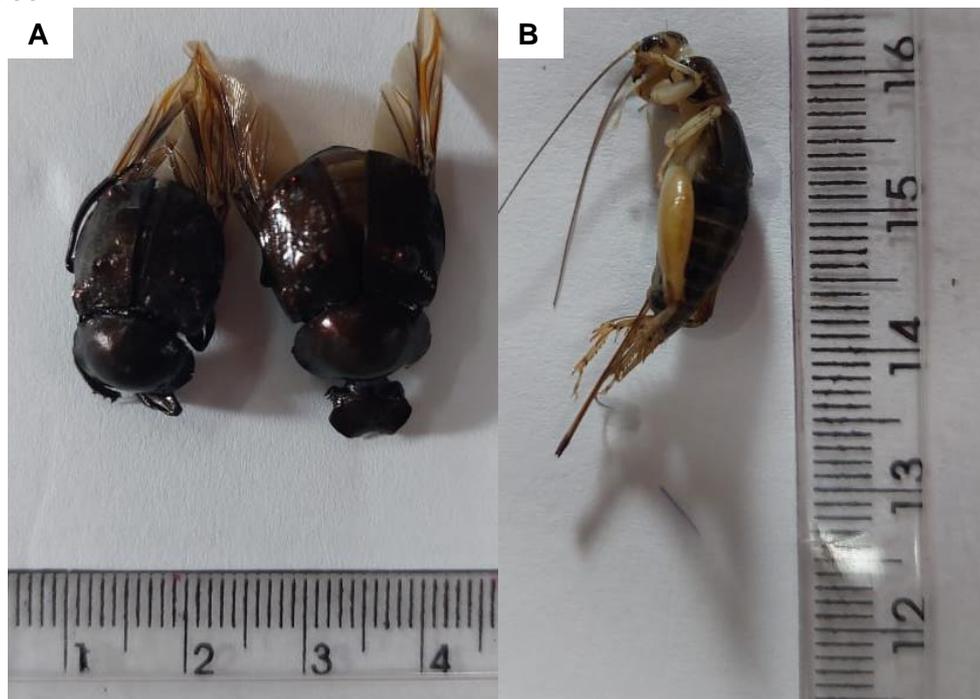
Número de indivíduos (Ni); Frequência absoluta (Fa); Frequência relativa (Fr).

Segundo a classificação de Baretta (2007) os indivíduos encontrados encaixam-se na macro e mesofauna do solo. Os organismos representantes destas ordens são considerados fundamentais no bom funcionamento dos processos da qualidade química e física do solo, como por exemplo na ciclagem de nutrientes e melhoria de atributos físicos, sendo marcado pela sua complexidade tanto em termos quantitativos quanto em tipos de organismo (Silva; Amaral, 2013). Estas constatações podem ser observadas nos resultados encontrados na presente pesquisa, já que foram encontradas 12 táxons diferentes, tendo entre eles táxons com relevante função nos processos de ciclagem, como as ordens Collembolla, Coleóptera, que apareceram com bastante frequência nas duas áreas.

De acordo com Zhang et al. (2018) os coleópteros são a ordem popularmente representada pelo grupo de insetos mais diversos e abundantes da terra. Esse grupo

se destaca pela sua grande diversidade morfológica e ecológica desempenhando papel de grande valia na maioria dos ecossistemas. Entre os coleópteros encontrados na presente pesquisa, a maioria pertence ao grupo dos besouros coprófagos (Figura 5), da família Scarabaeidae. Os Scarabeidae, popularmente conhecidos por rola-bosta, ao exercerem a utilização e o transporte de seus recursos alimentares no ambiente, realizam importantes benefícios ecológicos onde vivem, atuando diretamente desde da melhoria da fertilidade e física do solo, quanto na dispersão de sementes, inclusive em ambiente de Caatinga (Pergentino, 2015).

**Figura 5.** Detalhamento dos capturados na armadilha A – Scarabaeidae; B - Ortopterea



Fonte: Autor (2023).

A família Scarabaeidae (Coleóptera) apresentou grande quantidade de indivíduos na área de Mata Nativa, enquanto na área de Pousio obteve quantidade significativamente reduzida, resultado semelhante ao obtido por Niero e Hernández (2017) estudando a família Scarabaeidae em diferentes paisagens. A presença das ordens Hymenoptera e Coleóptera em diferentes áreas estudadas também foi encontrada no trabalho de Ramos e Aguiar (2019).

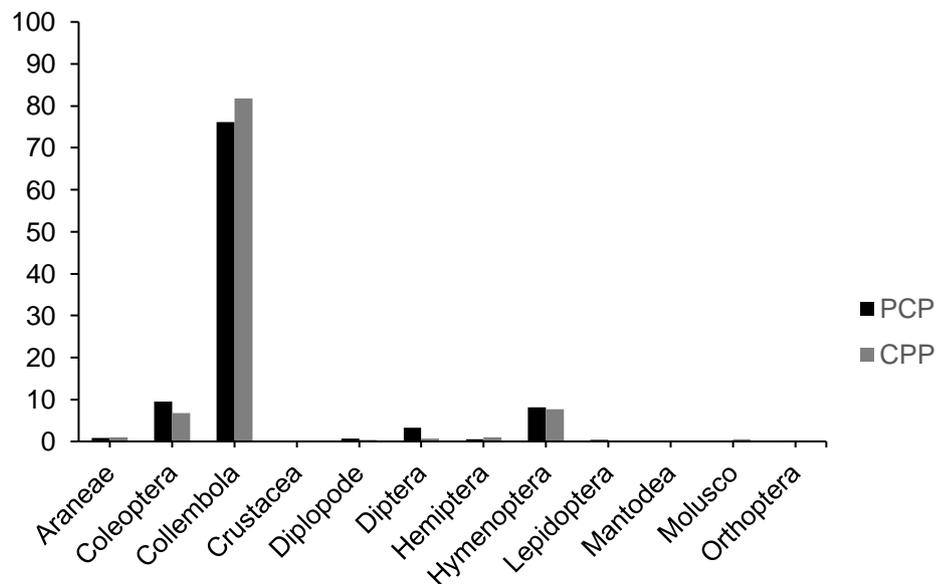
Em Caatinga, alguns estudos apontam para pelo menos 26 espécies de besouros coprófagos em ambientes com vegetação nativa, demonstrando assim uma relevante diversidade para este grupo importante de coleóptero. Porém, neste bioma estes insetos apresentam sazonalidade fortemente influenciada pela precipitação,

ocorrendo com maior frequência no período chuvoso (Hernandez, 2007). Esta sazonalidade climática observada para os insetos coprófagos, pode ser ainda mais restritiva em se tratando de ambiente com solo salino, já que este pode limitar ainda mais as atividades destes insetos no período de escassez hídrica.

A área PCP apresentou 65% dos coleópteros encontrados na presente pesquisa, demonstrando assim que a *P. juliflora* tem proporcionado ambiente favorável para que estes insetos se estabeleçam e que após o corte destas árvores na área, pode estar ocorrendo condições ainda mais favoráveis, como por exemplo a decomposição, para que estes grupos de insetos predominem.

No gráfico da figura 6, pode ser observado melhor como ficou distribuído as ordens e as classes dos exemplares de insetos da meso e macrofauna edáfica, mostrando assim, que tanto na PCP como na CPP prevaleceu a porcentagem maior para as mesmas Ordem.

**Figura 6.** Porcentagem das Classificações distribuídas nas áreas de estudo.



Fonte: Autor (2023).

Utilizando a entomofauna como bioindicadora para áreas que sofreram alguma degradação, ou até mesmo, como área que está em recuperação. Borges (2018) realizando trabalhos com a mesma temática, encontrou 6 ordens de insetos que são caracterizados como bioindicadores, por possuírem e desempenharem grande relevância na recomposição do solo. Dos quais também, foram encontrados nas áreas

de estudo. Como no caso, dos Collembola PCP (76,19%), CPP (81,78%); Coleoptera PCP (9,52%), CPP (6,70%) e Hymenoptera PCP (8,21%) CPP (7,63%). Sendo essas ordens as de maior representatividade.

Em relação aos índices faunísticos, pode-se observar que as ordens com maiores destaques nas duas áreas foram Collembola, Coleoptera e Hymenoptera, sendo superabundantes ou abundantes, dominantes, comuns, frequentes e constantes (Tabelas 4 e 5).

**Tabela 4.** Índices faunísticos de Dominância, Abundância, Frequência e Constância encontradas na área PCP (Pós corte de *P. juliflora*), em áreas ciliares no município de Ibimirim -PE.

Classificação	PCP					
	NI	N. coletas	Dominância	Abundância	Frequência	Constância
Araneae	7	3	D	C	F	W
Coleoptera	80	4	D	Ma	MF	W
Collembola	640	4	SD	As	SF	W
Diplopode	6	3	D	C	F	W
Diptera	28	4	D	C	F	W
Hemiptera	5	2	ND	C	F	W
Hymenoptera	69	4	D	Ma	MF	W
Lepidoptera	3	2	ND	C	F	W
Orthoptera	2	1	ND	D	PF	Y

Dominância - (SD) superdominante; (D) dominante; (ND) não dominante. Abundância - (sa) superabundante; (ma) muito abundante; (a) abundante; (c) comum; (d) dispersa; (r) rara. Frequência - (SF) super frequente; (MF) muito frequente; (F) frequente; (PF) pouco frequente. Constância - (W) constante; (Y) acessória; (Z) acidental. (\*) indicador ecológico.

De acordo com esse levantamento, pode-se observar que PCP, mesmo com o menor número de ordem encontradas, mostrou a superdominância dos collembolas, encontrado em todas as amostras coletadas, sendo esta ordem um bom indicador em termos de decomposição no solo. Assim, a área ainda com a presença da *P. juliflora* já criou condições suficientes para que grupos importantes de fauna do solo se estabeleçam, e após proporcionar essa melhoria na fauna do solo, com a retirada desta espécie vegetal da área, criou-se condições ainda mais satisfatórias para que estas ordens colonizem e contribuam com a melhoria do solo. Coleoptera também colabora no serviço de decomposição, tendo maior quantidade de indivíduos nas áreas pós corte, assim como os collembolas.

**Tabela 5.** Índices faunísticos de Dominância, Abundância, Frequência e Constância na área CPP (com presença de *P. juliflora*) em áreas ciliares no município de Ibimirim - PE.

Individuos	CPP					
	NI	N. coletas	Dominância	Abundância	Frequência	Constância
Araneae	6	2	D	Ma	MF	W
Coleoptera	43	4	SD	Sa	SF	W
Collembola	525	4	SD	Sa	SF	W
Crustacea	1	1	ND	D	PF	Y
Diplopode	2	1	ND	C	F	Y
Diptera	4	1	ND	C	F	Y
Hemiptera	6	2	D	Ma	MF	W
Hymenoptera	49	3	SD	Sa	SF	W
Lepidoptera	1	1	ND	D	PF	Y
Mantodea	1	1	ND	D	PF	Y
Molusco	3	1	ND	C	F	Y
Orthoptera	1	1	ND	D	PF	Y

Dominância - (SD) superdominante; (D) dominante; (ND) não dominante. Abundância - (sa) superabundante; (ma) muito abundante; (a) abundante; (c) comum; (d) dispersa; (r) rara. Frequência - (SF) super frequente; (MF) muito frequente; (F) frequente; (PF) pouco frequente. Constância - (W) constante; (Y) acessória; (Z) accidental. (\*) indicador ecológico

Os índices faunísticos observados nas duas áreas, demonstram que a presença de *P. juliflora* tem proporcionado condições satisfatórias para manter ordens de fauna do solo que são importantes na melhoria das condições edáficas, principalmente em se tratando de solo salino. A retirada da *P. juliflora*, mesmo sendo avaliado por um período que pode ser considerado curto (aproximadamente 7 meses após o corte), pode já ter criado condições ainda melhores para estes grupos importantes de decompositores aumentarem em termos de quantidade de indivíduos. Porém, é preciso levar em consideração que a área após o corte de algaroba foi manejada também com fogo, o que pode ter influenciado as populações dos insetos avaliados, já que os artrópodes do solo respondem rapidamente a mudanças ocorridas nas condições ambientais do solo (Louzada; Zanetti, 2013).

#### 5.4 Componentes Químicos do Solo

Na análise química do solo (Tabela 6), observou-se diferenças significativas nas propriedades dos elementos trocáveis e solúveis entre as áreas, com a área SPP apresentando os maiores teores de sódio, indicando uma alta salinidade em comparação às áreas com *P. juliflora*, o que sugere que a *P. juliflora* pode estar com algum mecanismo de colaboração na retirada destes sais em solos salinos nas condições locais.

**Tabela 6.** Teste de Fisher para as propriedades químicas do solo de acordo com o uso e a profundidade de coleta do solo, no município de Ibimirim (PE).

Propriedade	Fonte de Variação			CV (%)
	Uso do solo (U)	Profundidade (P)	U x P	
Ph	13,75*	0,96 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	5,06
CE	32,35*	0,69 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	99,40
T	11,99*	0,51 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	28,95
PST	16,80*	19,12*	2,70*	79,34
RAS	25,96*	10,66*	2,66*	87,07
<i>Trocáveis</i>				
Ca <sup>2+</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	32,66
Mg <sup>2+</sup>	18,59*	1,35 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	61,49
K <sup>+</sup>	7,16*	43,25*	2,57*	47,65
Na <sup>+</sup>	21,92*	19,31*	3,75*	84,94
<i>Solúveis</i>				
Ca <sup>2+</sup>	13,68*	1,23 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>	151,93
Mg <sup>2+</sup>	13,85*	0,24 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	170,92
K <sup>+</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	8,22*	0,40 <sup>ns</sup>	168,23
Na <sup>+</sup>	23,55*	1,12 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	134,29

A Condutividade elétrica (CE) e o pH reforça os demais indicadores de salinidade do solo, nas áreas onde tem maior salinidade na área antes da colonização da *P. juliflora* (SPP) em comparação as áreas em que ela esteve colonizando (CPP) e após seu corte e retirada da lenha da área (PCP), onde foram encontrados valores menores para essa variável. Assim, foi demonstrado um nível alto de condutividade na

área SPP, o que demonstra maior teor de sais, sendo significativa em relação as demais áreas.

Em solos salinos, o pH e a CE muitas vezes estão inter-relacionados. Por exemplo, a salinidade do solo pode alterar o pH, tornando-o mais ácido ou mais alcalino. Esses fatores podem afetar a germinação das sementes de várias maneiras, reduzindo a absorção de água, pois solos com alta CE criam condições de estresse osmótico, o que dificulta a absorção de pelas sementes, impactando diretamente a germinação; toxicidade iônica onde sais como o sódio ( $\text{Na}^+$ ) e o cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) acabam se tornando tóxicos para muitas plantas quando estão presentes em altas concentrações. Além disso, altos níveis de sal podem interferir no pH do solo, tornando-o mais ácido ou alcalino o que pode ser prejudicial ao desenvolvimento radicular.

Assim também como o Ph e a CE influenciam nas alterações na atividade microbiana do solo, que desempenham um papel crucial na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. A alteração dessas condições pode reduzir a capacidade do solo de fornecer nutrientes essenciais, afetando ainda mais o crescimento das plantas.

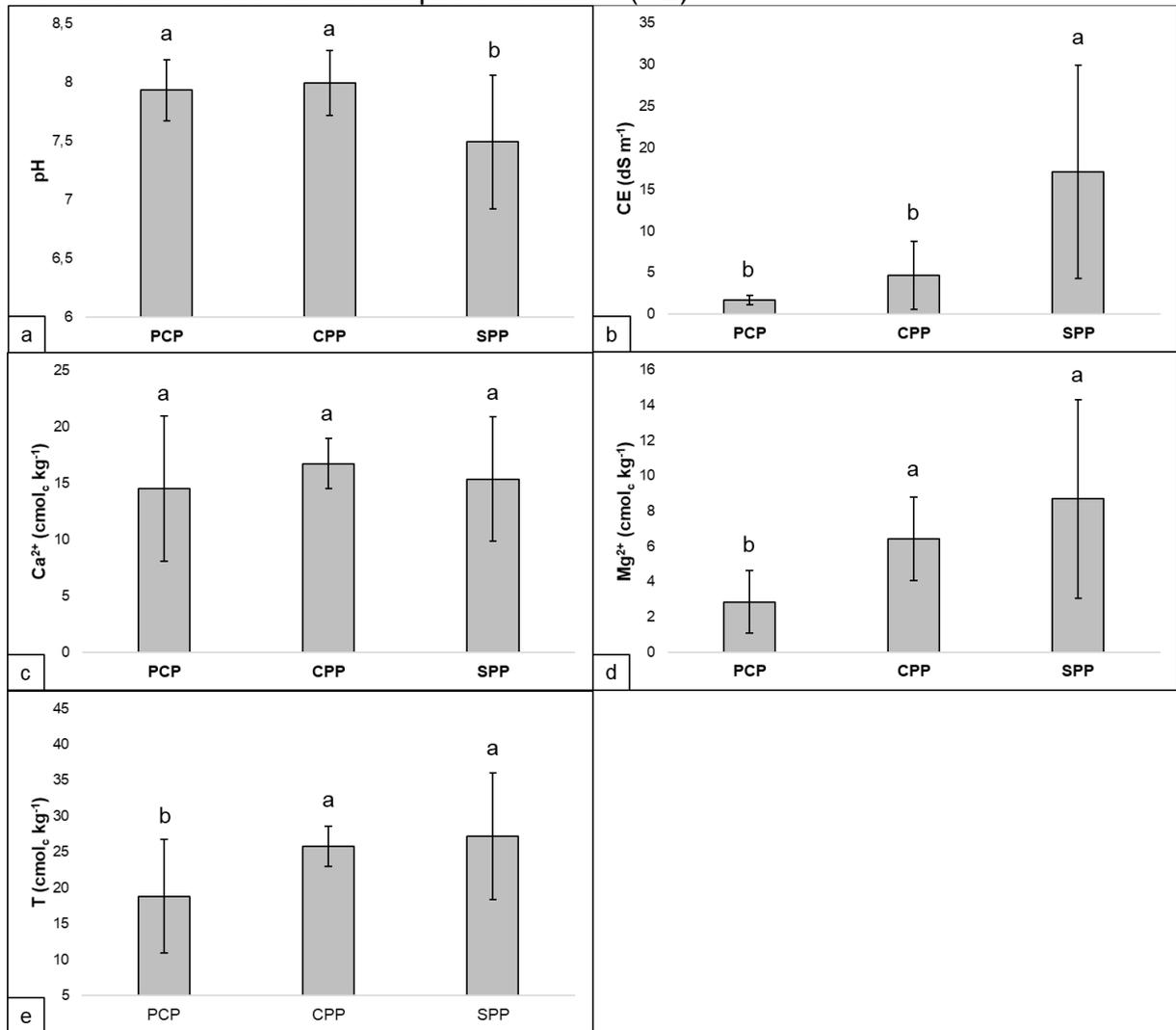
Esse alto valor de CE está relacionado a questão da salinidade do solo, pois ela se encontra em maior quantidade com uma média de  $18 \text{ dS m}^{-1}$  mostrando excessividade de sais nessa primeira área e segundo a classificação de solos do Brasil essa área tem um caráter sálico onde o extrato de saturação é maior que  $7 \text{ dS m}^{-1}$ , o que dificultaria a sua colonização por espécies vegetais nativas, assim como foi constatado no levantamento florístico da presente pesquisa, onde apenas as áreas com colonização de *P. juliflora* é que foram encontradas outras espécies lenhosas conseguindo se estabelecer no solo.

Na (Figura 7) pode ser observado com mais clareza o comportamento do pH e a CE nos diferentes uso do solo na área em que foi realizado o corte da *P. juliflora* e queima (PCP), é importante observar que foi onde se encontraram os mais baixos valores de CE, constatando juntamente com os teores de sódio e PST que essa área teve redução da sua sodicidade em comparação com as outras áreas.

Nessa área, foi realizado o corte de *P. juliflora*, a retirada da maior parte do material vegetal dessa espécie, por meio da venda da sua lenha e permaneceu sobre o solo apenas o resíduo desses indivíduos como galhos finos, folhas e frutos, sendo

estes queimados antes da coleta do solo para análise, o que tornou boa parte destes elementos disponíveis novamente na área com a “decomposição acelerada” por meio da queima.

**Figura 7.** Potencial hidrogeniônico (a), condutividade elétrica (b) e teores trocáveis de cálcio (c) e magnésio (d) e capacidade de troca de cátions potencial (e) do solo sob diferentes usos no município de Ibimirim (PE)



PCP = corte e queima da *Prosopis juliflora*, CPP = presença da *Prosopis juliflora*, SPP = ausência da *Prosopis juliflora*

Assim, a maior parte dos nutrientes (assim como os sais de sódio) que estavam presos na vegetação de *P. juliflora*, foram “exportados” com a sua retirada de lenha da área para venda e conseqüentemente tornaria a área menos salina e mais propícia a sua auto recuperação com a vegetação local posteriormente.

Foram constatadas diferenças significativas para o uso do solo e profundidades pelo teste de Variância de Fisher o pH em água do solo o quanto foi significativo para a variável do uso do solo (PCP, CPP, SPP) em comparação a variável profundidade

obtendo um resultado de 13,75 de significância. A CE também se mostrou significativa para uso do solo. Quando correlacionando essas duas variáveis em relação as propriedades pH e CE não se obteve nenhuma significância mostrando que a relação uso do solo e profundidade não variou para as propriedades estudadas.

Com o aumento da profundidade constatou-se aumento da sodicidade do solo nas diferentes áreas, este fato pode estar relacionado as substituições iônicas que geralmente ocorrem nas primeiras camadas, tendo como consequência maior presença de sódio nas camadas inferiores. Este fato foi constatado em solos salinos da região de estudo também em outras pesquisas, como de (Santos et al., 2022) que em trabalho com solos salinos na sua remediação com a espécie vegetal *Atriplex*, também observou essa redução de valores de teores de sódio a medida que se aprofundava as camadas do solo, observando menor teor de cálcio nas camadas inferiores, onde confere a essa substituição iônica nas camadas superiores.

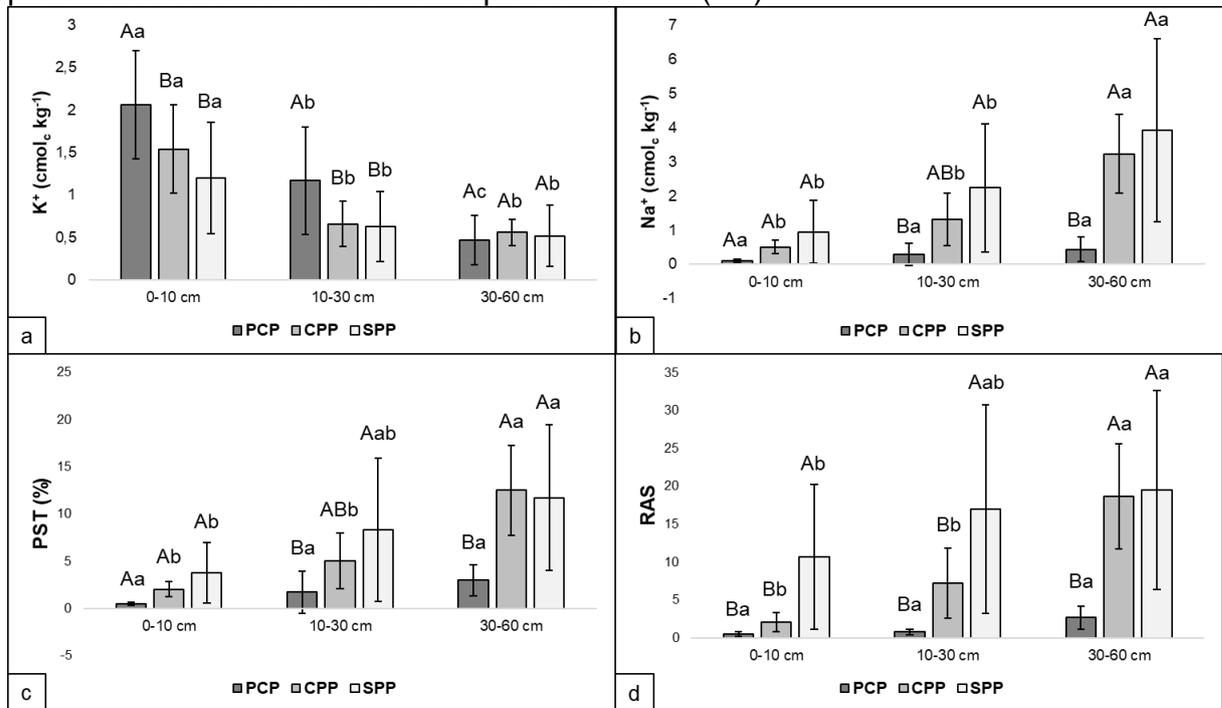
Como os teores trocáveis de cálcio (Figura 7c) variam com os diferentes usos do solo. O cálcio é um nutriente essencial que influencia a estrutura do solo e a saúde das plantas (De Sá et al., 2024). O  $\text{Ca}^{2+}$  elemento se mostrou em maior concentração na área CPP mas essa quantidade de teor desse elemento não variou tanto assim em relação a área PCP e a SPP não mostrou nenhuma diferença significativa entre o uso das áreas.

Quando se tem as propriedades da análise dos trocáveis magnésios ( $\text{Mg}^{2+}$ ) foi significativo na variável uso do solo em comparação as demais variáveis, em relação potássio ( $\text{K}^+$ ) e Sódio ( $\text{Na}^+$ ) os dois elementos foram bastante significativos nas duas variáveis tanto para o uso do solo (PCP, CPP, SPP) como para as variáveis profundidade de 0-10, 10-30, 30-60. Os componentes químicos solúveis Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Sódio ( $\text{Na}^+$ ) foram significativos para a variável uso do solo. Enquanto o Potássio ( $\text{K}^+$ ) foi significativo somente para a variável profundidade.

Na (Figura 8a) observou-se que o teor de potássio  $\text{K}^+$  na profundidade de 0-10 na área PCP teve uma média significativamente maior em relação as demais variáveis de uso do solo, demonstrando que nessa superfície se encontra uma maior concentração de nutrientes, no entanto correlacionando essa mesma área de uso do solo com as demais profundidade, mostrou-se que nas demais profundidade a diferença de média foram todas significativas.

**Figura 8.** Teores trocáveis de potássio (a) e sódio (b), capacidade de troca de cátions

potencial (c) e relação de adsorção de sódio (d) do solo sob diferentes usos para cada profundidade de coleta no município de Ibirimir (PE)



PCP = corte e queima da *Prosopis juliflora*, CPP = presença da *Prosopis juliflora*, SPP = ausência da *Prosopis juliflora*. Letras maiúsculas diferentes representam significância no teste de Tukey entre os usos do solo em cada profundidade coletada. Letras minúsculas diferentes representam significância no teste de Tukey entre as profundidades coletadas em cada uso do solo.

Na área CPP comparando a semelhança entre os níveis de profundidade com as áreas de uso do solo, mostrou que a profundidade de 0-10 cm para o teor do trocável K<sup>+</sup> a área PCP possui uma diferença significativa comparando com as demais áreas, com relação as demais profundidade possui diferença significativa nas demais profundidade tanto de 10-30 como na 30-60, porem na última seu nível de teor estava em menor quantidade. Pode ser notado na área CPP que foi significativa na profundidade de 0-10 cm em relação ao uso do solo ela mostrou significância na profundidade de 30-60.

Na área SPP o teor de K<sup>+</sup> foi semelhante nas profundidades 10-30 e 30-60 cm em comparação a profundidade de 0-10 onde acabou se diferenciando em comparação do teor. Com relação ao uso do solo a mesma teve diferencia significativa na profundidade de 30-60 cm

Na (Figura 8b) observando o teor de Sódio N<sup>+</sup> na área PCP nas diferentes profundidades nota-se que a de 0-10 foi a que se diferenciou em relação a 10-30 e 30-60 mostrando assim que essas respectivas áreas foram semelhantes e mostrando um maior teor de sódio nessa profundidade encontrando assim esse solo mais salino,

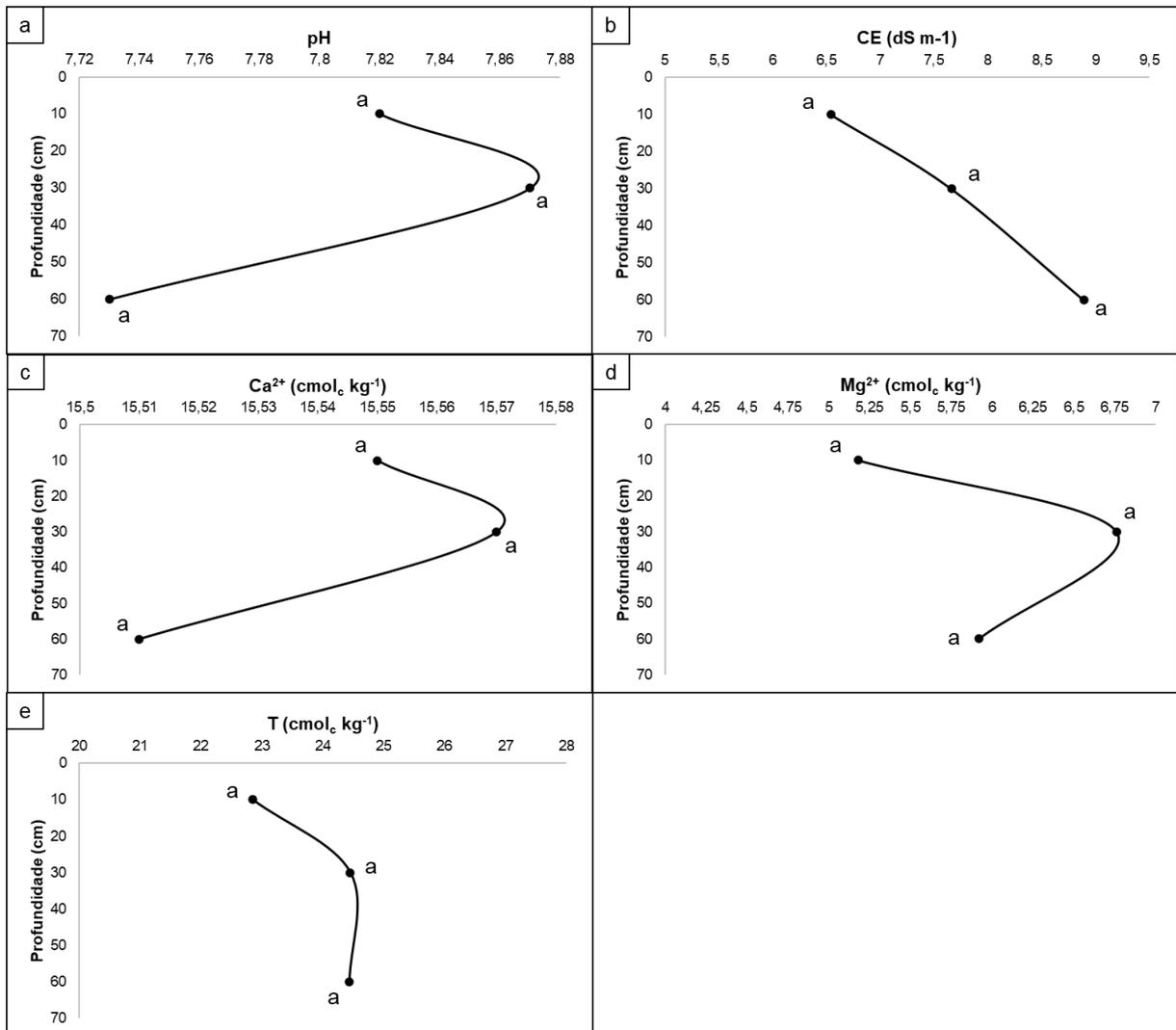
podendo observar que a área pós corte da *Prosopilis* PCP esse teor foi baixo, mesmo após o corte da espécie na área.

Na área CPP o uso do solo possuiu semelhança significativa nas três profundidades tendo como destaque a de 10-30 a variável se mostrou semelhante para as outras duas áreas, mostrando diferencia significativa na profundidade de 30-60cm aonde mostrou com uma maior significância, nota-se que o nutriente nessa profundidade se encontra em maior concentração.

Na área SPP mostrou que o uso do solo nas três profundidades não teve diferencia significativa em relação ao teor de  $N^+$  mas comparado com os níveis de profundidade a de 30-60 cm foi a que teve uma maior significância em relação a 0-10 e 10-30 que foram semelhantes estatisticamente.

Na figura 9 observou-se que não teve ocorrência de diferença nos níveis de profundidade em relação ao pH e Ce, conforme vai aumentando a profundidade o nível de pH do solo vai diminuindo, mostrando que a semelhança significativa nos diferentes níveis de profundidade do solo 0-10, 10-30, 30-60cm. Da mesma forma que comparando com a CE da figura 9b que se mostra o contrário, pois conforme o nível de profundidade vai aumentando a CE também aumenta, tendendo para um solo com maior nível de salinidade, porém semelhante estatisticamente nos três níveis de profundidade.

**Figura 9.** Potencial hidrogeniônico (a), condutividade elétrica (b) e teores trocáveis de cálcio (c) e magnésio (d) do solo sob diferentes profundidades de coleta no município de Ibimirim (PE).

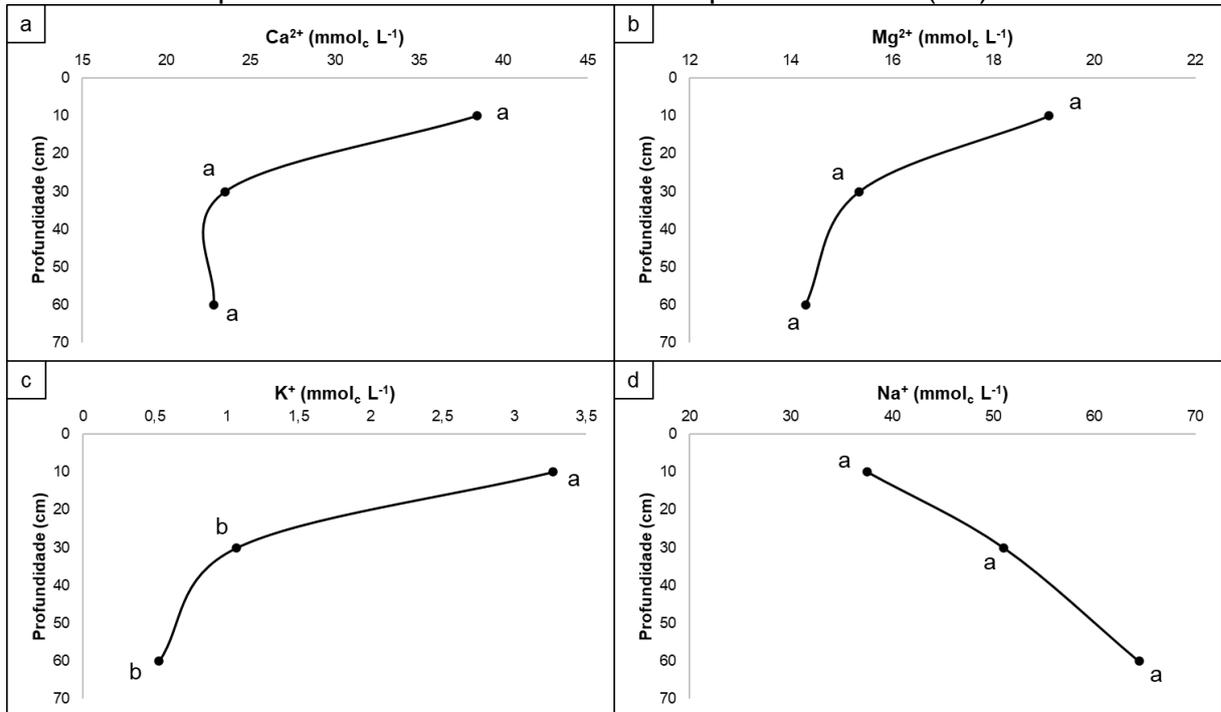


Observando o teor de Cálcio Ca<sup>2+</sup> trocável na figura 9c, pode analisar que a medida que o nível de profundidade do solo vai aumentando o teor desse nutriente vai diminuindo mostrando que sua maior concentração está mais na superfície do solo, isso pode estar relacionado ao fato desse nutriente ser um ótimo agregador de partículas, prevenindo a dispersão da argila presente no solo, como também a percolação da água e a redução do escoamento superficial. Com isso, mostra que não possui diferença estatística em relação aos níveis de profundidade.

O teor do Magnésio Mg<sup>2+</sup> trocável na (Figura 9d) mostra também essa mesma disponibilidade desse nutriente nos primeiros níveis de profundidade do solo onde ele se encontra em maior concentração tanto na profundidade de 0-10 cm como 10-30cm, isso pode ser algo benéfico pois mostra que esse nutriente ajuda na retenção de matéria orgânica no solo e ajuda a manter esse nutriente disponível para absorção pelas raízes das plantas.

A (Figura 10) demonstra o comportamento dos teores solúveis no solo nos diferentes níveis de profundidade, podendo notar a concentração desses nutrientes,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em maior concentração nos níveis mais superficiais do solo, sendo os dois elementos químicos que possuíram semelhança estatisticamente em relação aos níveis de profundidade.

**Figura 10.** Teores solúveis de cálcio (a), magnésio (b), potássio (c) e sódio (d) do solo sob diferentes profundidades de coleta no município de Ibimirim (PE).



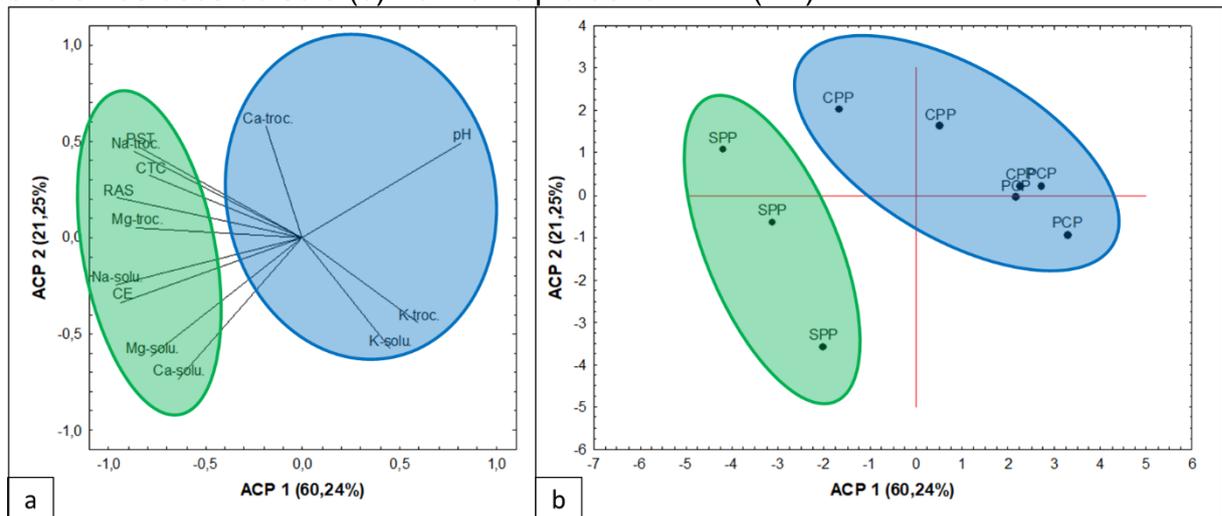
Na (Figura 10c) os teores de  $\text{K}^{+}$  por ser um elemento altamente móvel no solo, mostrou essa significância estatística em relação aos níveis de profundidade e o menor teor desse nutriente nas profundidades mais inferior, esse nutriente ele desempenha um papel importante e essencial nas plantas, sendo um dos macro nutrientes para o crescimento e desenvolvimento saudável, tendo como principal função ajudar a controlar abertura e fechamento dos estômatos nas folhas, estruturas que regulam a troca gasosa e a transpiração (Sardans e Penuelas, 2021). Isso é crucial para a fotossíntese e para o uso eficiente da água pela planta, especialmente em condições de estresse hídrico.

Na (Figura 10d) os teores de  $\text{Na}^{+}$  bastante elevados no nível de maior concentração nas profundidades mais inferiores, onde nas profundidades de 30-60 teve um teor de  $65 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$  altos teores de sódio solúvel nas camadas superficiais e em profundidade, pode refletir condições de salinidade nesse solo, uma concentração

elevada nas camadas profundas, pode indicar um problema de salinização ou a presença de sódio movendo-se para baixo no perfil do solo. O acúmulo excessivo de som no solo pode desencadear estresse osmótico, estresse oxidativo, desigualdade iônica, tendo um efeito direto tanto no crescimento como a produtividade das plantas (SUN et al, 2022).

A (Figura 11) representa uma análise de componentes principais (PCA) que relaciona as variáveis propriedades do solo com os diferentes usos do solo. Observa que variáveis como teores trocáveis de nutrientes (Ca-troc., Mg-troc., K-troc., Na-troc.) podem estar altamente correlacionadas com a CE (Figura 11a) da mesma forma que a RAS e a PST se agrupam.

**Figura 11.** Análise de componentes principais entre as propriedades do solo (a) e os diferentes usos do solo (b) no município de Ibimirim (PE).



PCP = corte e queima da *Prosopis juliflora*, CPP = presença da *Prosopis juliflora*, SPP = ausência da *Prosopis juliflora*, pH = potencial hidrogeniônico, CE = condutividade elétrica, Ca-troc. = teor de cálcio trocável, Mg-troc. = teor de magnésio trocável, K-troc. = teor de potássio trocável, Na-troc. = teor de sódio trocável, Ca-solu. = teor de cálcio solúvel, Mg-solu. = teor de magnésio solúvel, K-solu. = teor de potássio solúvel e Na-solu. = teor de sódio solúvel.

Isso é esperado, pois a condutividade elétrica é influenciada pela concentração de íons no solo. Na análise dos diferentes usos do solo, a PCA investiga como os usos do solo (corte e queima, presença ou ausência de *Prosopis juliflora*) afetam as propriedades do solo.

O PCP, CPP e SPP estão em regiões distintas do gráfico PCA, isso indica que cada uso do solo tem um efeito característico e diferente nas propriedades do solo. A distância entre os pontos que representam diferentes usos do solo indica a magnitude das diferenças nas propriedades do solo. Usos que estão mais distantes um do outro no gráfico têm impactos mais distintos nas propriedades químicas do solo. Avaliar

como os pontos de PCP, CPP e SPP se distribuem pode ajudar a entender os efeitos dos diferentes usos. Se PCP está claramente separado de CPP e SPP, isso pode indicar um impacto significativo do manejo de corte e queima na composição química do solo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente Pesquisa sugerem que *P. juliflora* ao se estabelecer nas áreas de solo salino na Caatinga, como os de ambiente ciliar, está conseguindo criar condições mais favoráveis para a autorecuperação dessas áreas. Assim, provavelmente a *P. juliflora* esteja agindo como espécie facilitadora no processo de recuperação desses ambientes, porém sendo ainda fundamental o manejo da mesma com sua retirada após, ou mesmo antes de chegar a sua fase adulta, carecendo de maiores investigações, principalmente acerca da sua possível capacidade fitoremediadora de solos salinos para conclusões mais assertivas;

*P. juliflora* mostrou predominância na área em colonização espontânea, mostrando assim sua capacidade de perpetuação e a necessidade de intervenção com sua retirada como forma de facilitar a recuperação da área posteriormente em termos florísticos;

O banco de sementes tanto nas áreas com *P. juliflora* quanto após sua retirada teve predominância de espécies herbáceas, com maior densidade de indivíduos na primeira, mostrando a importância inicial das espécies herbáceas nesse estágio de sucessão ecológica, mesmo em ambientes de solo salino;

Os ambientes com presença de *P. juliflora* demonstrou criar condições mais satisfatórias para a permanência de maior quantidade de indivíduos da entomofauna do solo, em especial insetos considerados chave na ciclagem de nutrientes, como dos grupos coleoptera e collembola, o que sugere um manejo com retirada dessa espécie de forma gradual pela substituição de outras espécies nativas de rápido crescimento para que seja mantida as condições satisfatórias de sombreamento e serrapilheira para esses grupos da biodiversidade;

Na composição química do solo as áreas com presença de *P. juliflora* apresentaram condições melhores em termos de salinização com menor sodicidade e maior presença de nutrientes, o que confirma sua importante participação na melhoria

das condições do solo em termos de recuperação das áreas salinizadas em ambientes ciliares da caatinga após sua colonização e retirada do ambiente.

## 7. REFERÊNCIAS

- A.T.; SANTOS, P. B.; 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.
- ALVES, A.P.A., PEREIRA, T.M.S., MARQUES, A.L., MOURA, D. C., MELO, J.I.M 2018. Sucessão ecológica em área de exploração mineral do semiárido paraibano (Brasil). **Acta Geográfica** 12: 75-93.
- ALVES, AR et al. Conteúdo de nutrientes na biomassa e eficiência nutricional em espécies da Caatinga. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, pág. 377-390, 2017.2787
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 8, p. 1353-1367, 2018
- APG (Angiosperm Phylogeny Group). 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 181. 1-20.
- ARAÚJO, E. D. S.; MACHADO, C. C. C.; SOUZA, J. O. P. Considerações sobre as paisagens semiáridas e os enclaves subúmidos do nordeste seco: Uma abordagem sistêmica. **Revista de Geografia** (Recife), v. 36, no .3, 2019.
- BALDANTONI, D.; CICALTELLI, A.; STEFANO, A. B. Different behaviours in phytoremediation capacity of two heavy metal tolerant poplar clones in relation to iron and other trace elements. **Journal of Environmental Management**, 146, 94, 2014.
- BOHN, L., LYRA, G.B., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., ZERI, M., CUNHA-ZERI, G., 2021. Desertification susceptibility over Rio de Janeiro, Brazil, based on aridity indices and geoprocessing. *Int. J. Climatol.* 41, E2600–E2614. <https://doi.org/10.1002/joc.6869>.
- BUTCHER, K. et al. Soil salinity: A threat to global food security. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 2189-2200, 2016.
- CAMPOS, ACS, JARDIM, MAG, 2020. Composição florística da regeneração de um trecho de savana na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física** 13, 2277-2787.
- CLEMENT, N., AGEVI, H. & JOHN, O. (2020). Impacts of *Prosopis juliflora* on Abundance and Species Diversity of Forage Species in Turkana County, Kenya.

10.9734/CJAST/2020/v39i3331026.

CONAMA – Conselho Nacional de meio ambiente. Resolução Nº 463 – de 29 de julho de 2014. Dispõe sobre o controle ambiental de produtos destinados à remediação. Brasil, 2014.

DALIAKOPOULOS, I.N., TSANIS, I.K., KOUTROULIS, A., KOURGIALAS, N.N., VAROUCHAKIS, A.E., KARATZAS, G.P., RITSEMA, C.J. The threat of soil  
Distribuição e impactos socioeconômicos de *Prosopis juliflora* nas zonas leste shewa e oeste arsi, Etiópia. *Jornal Internacional de Estudos Africanos e Asiáticos*. 2016; 24: 31-41 DOI: 10.26848/rbgf.v13.6.p2777-  
DOI: doi.org/10.15628/holos.2015.2098

DE SÁ, Amanda Aciely Serafim et al. A importância do cálcio para a nutrição de plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, n. 2, 2024.

DOS SANTOS, Monaliza Alves et al. Reclamation of saline soil under association between *Atriplex nummularia* L. and glycophytes plants. *Agriculture*, v. 12, n. 8, p. 1124, 2022.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br> Acesso em: 11 set. 2024.

DOS SANTOS, D. M.; DA SILVA, K. A.; DOS SANTOS, J. M. F. F.; ARAÚJO, E. DE L. Soil seed bank and its importance in the natural regeneration of degraded areas. **Ethnobiology and Conservation**, v. 7, 2018. <https://doi.org/10.15451/ec2018-03-07.05-1-7>

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. edição, revisada e ampliada. Brasília, DF, Embrapa Solos, 2018, 700 p.

ERIKSSON, O. Evolution of seed dispersal and recruitment in clonal plants. **Oikos**, v. 63, p. 439–448, 1992. <https://doi.org/10.2307/3544970>

FERREIRA, K. L.; DA COSTA, F. M.; COELHO, A. G. D. C.; AFONSO, B. P. D. Sustentabilidade e inovação, alternativas de convivência no semiárido mineiro: um estudo na mesorregião do Vale do Jequitinhonha. In: ANAIS DO VI SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE-SINGEP, Anais p.10, 201

FILHO, J.N. 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.

Flora do Brasil 2020. 2021. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 17 de Setembro de 2021.

GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; GAMA, D. C.; FREITA, B. A. L. de. Chuva de sementes em remanescente de Caatinga, Porto da Folha, Sergipe, Brasil. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.34062/afs.v8i1.10849>

- HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento HOLANDA, C. A. et al. Remoção do corante têxtil turquesa de remazol empregando aguapé (*Eichhornia crassipes*) como adsorvente. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, v. 7, n.2, p. 141-154, 2015
- HUNDESSA, Niguse; FUFU, Amare. Distribution and socio-economic impacts of *Prosopis juliflora* in East Shewa and West Arsi Zones, Ethiopia. *International Journal of African and Asian Studies*, v. 24, p. 31-41, 2016.
- INMET. Tabela estações. 2022. Disponível em: Acesso em: 18 jan. 2023.
- JUSTO, J.; BARRETO, A.; SILVA, J.; FERREIRA NETO, M.; SÁ, FRANCISCO.; OLIVEIRA, R. Identificação e diagnóstico de solos afetados por sais no perímetro irrigado Baixo-Açu, RN, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n. 7, p. 480-484, 2021.
- KASSA, G.; MOLLA, E.; ABIYU, A. Effects of *Eucalyptus* tree plantations on soil seed bank and soil physicochemical properties of Qimbaba forest. *Cogent Food e Agriculture*, v. 5, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1711297>
- Kumar, B.P., Babu, K.R., Anusha, B.N., Rajasekhar, M., 2022. Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI/TIRS, LST and NDVI approach. *Environmental Challenges* 8, 100578. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100578>.
- Kumar, S. & Mathur, M. (2014). Impact of invasion by *Prosopis juliflora* on plant communities in arid grazing lands. *Tropical Ecology*. 55. 33-47.
- LEAL, Isaac Gomes et al. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1065-1072, 2008.
- LIMA JÚNIOR, J. A. de; SILVA, A. L P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. *Enciclopédia Biosfera*, v. 6, n. 11, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/>
- LOUZADA, J. ZANETTI, R. **Bioindicadores de impactos ambientais**. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMEIS, S. L. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras, UFLA, 2013, p. 139-168.
- LU, Y. L.; ZHANG, W. H.; YANG, B.; WANG, Y. N. Seed rain, soil seed bank and seedling regeneration of *Quercus aliena* var. *acureserrata* in different slope directions on the middle Qinling Mountains, China. *Chin. J. Appl. Ecol.*, v. 30, p. 1–11, 2019. DOI: 10.13287/j.1001-9332.201906.004
- MEDEIROS, J. X.; SILVA, G. H.; RAMOS, T. M.; OLIVEIRA, R. B.; NÓBREGA, A. M. F. Composição e diversidade florística de banco de sementes em solo de área de Caatinga. *Revista Holos*, Natal, v. 8, p.03-14, dez. 2015.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO. Viçosa:

MENDOZA, Y. I.; I PÉREZ, J.; GALINDO, A. A. Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información tecnológica*, v. 29, n. 2, p. 205-214, 2018.

MIAO, R.; SONG, Y.; SUN, Z.; GUO, M.; ZHOU, Z.; LIU, Y. Soil Seed Bank and Plant Community Development in Passive Restoration of Degraded Sandy Grasslands. **Sustainability**, v. 8, n. 6, p. 581, 2016. <https://doi.org/10.3390/su8060581>

Munns, R., Tester M. (2008). Mecanismos de tolerância á salinidade. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651-681. Doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

NASCIMENTO, C. E. S. **Comportamento invasor de algarobeira (*Prosopis juliflora*) nas planícies aluviais da caatinga**. 2088. 115f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Recife, 2008. *Nat. Hazards* 111, 2531–2558. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05147-0>.

OLIVEIRA, E. V. S.; PRATA, A. P. N.; PINTO, A. S. Caracterização e atributos da vegetação herbácea em um fragmento de Caatinga no Estado de Sergipe, Brasil. **Revista Hoehnea**, São Paulo, v. 45, p. 159-172, fev. 2018.

PEDROTTI, A. 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.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. PEREIRA, T. M. S.; SILVA, J. A. L.; MOURA, D. C. Fitogeografia e análise integrada da paisagem em afloramentos rochosos no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.4, n.1, p. 14, 2018.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Orgs.) Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010, p.12-19.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2° ed. Fortaleza: INCTSal, cap. 2, p. 9-15. 2016.

RIBEIRO, R. C. et al. Efeito do estresse salino na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae). **Gaia Scientia**, v. 11, n. 4, p. 65-78, 2017.

RIBEIRO, T. O.; BAKKE, I. A.; SOUTO, P. C.; BAKKE, O. A.; LUCENA, D. S. Diversidade do banco de sementes em diferentes áreas de Caatinga manejadas no semiárido da Paraíba, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 203-213, mar. 2017.

- RODRIGUES, A. C. D. et al. Mecanismos de respostas das plantas à poluição por metais pesados: Possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos contaminados. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 1, p. 262-276, 2016.
- SAFDAR, H.; AMIN, A.; SHAFIQ, Y.; ALI, A.; YASIN, R.; SHOUKAT, A.; HUSSAN, M. U.; SARWAR, M. I. A review: impact of salinity on plant growth. **Nature and Science**, v.17, p.34-40, 2019.
- SARDANS, Jordi; PEÑUELAS, Josep. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 419, 2021.
- SANTOS, A. M. S.; BRUNO, R. L. A.; CRUZ, J. O.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P. Variabilidade espacial do banco de sementes em área de Caatinga no Nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, p. 542-555, abr.-jun. 2020.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa Solos, 2018. (E-book).
- SANTOS, J. F.; SILVA, J. V. Dispersão, distribuição espacial e potencial de dominância da *Acacia mangium* Willd. em remanescente de Mata Atlântica no distrito de Helvécia, Bahia. **Revista Mosaicum**, n. 31, p. 81-95, 2020.
- SANTOS, J. P. S.; DIODATO, M. A.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Distribuição e análise dos processos de dispersão de árvores do gênero *Prosopis* nas áreas de proteção permanente da área urbana do município de Mossoró/RN. **Revista Geotemas**, v. 9, n. 1, p. 161-181, 2019.
- SANTOS, J.C., LYRA, G.B., ABREU, M.C., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., BOHN, L., CUNHA-ZERI, G., Zeri, M., 2022. Aridity indices to assess desertification susceptibility: a methodological approach using gridded climate data and cartographic modeling.
- SILVA, J. L. S. E.; CRUZ-NETO, O.; PERES, C. A.; TABARELLI, M.; LOPES, A. V. Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. *PloS One*, v. 14, n. 5, p. e0217028, 2019.
- SILVA, J. S.; SANTOS, S. S.; GOMES, F. G. G. Biotechnology as strategies for reversal of contaminated areas by solid waste. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 18, n. 4, p. 1361-1370, 2014
- SILVA, Simone; NEVES, Eletisanda. Importância do manejo da irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 2020.
- SILVA, J.L.B., MOURA, G.B.A., SILVA, M.V., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., JARDIM,

A.M.D.R.F., Refati, D.C., 2023. Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian northeast via cloud geoprocessing techniques applied to orbital data. *J. S. Am. Earth Sci.* 121, 104164 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104164>

SILVA, T. J., et al... Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais. *Rev. Virtual Quim.* Vol.: 11, nº. 1, 2019. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2009.

SOUZA, D. G.; SFAIR, J. C.; PAULA, A. S.; BARROS, M. F.; RITO, K. F.; TABARELLI, M. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. *Forest Ecology and Management*, v. 435, p. 57-65, 2019

SOUZA, M. DE S., DA SILVA, T. G. F., DE SOUZA, L. S. B., FERRAZ JARDIM, A. M. D. R., ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N., **Nunes Alves**, H. K. M. (2019). Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. **Amazon. J. Plant Res**, 3, 417-430.

SUN, Yang et al. The application of machine learning methods for prediction of metal immobilization remediation by biochar amendment in soil. *Science of The Total Environment*, v. 829, p. 154668, 2022.

TOMASSONI, F. et al. Técnica de biorremediação do solo. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 3, p. 46-56, 2014.

USHA, B., VENKATARAMAN, G., and PARIDA, A. Heavy metal and abiotic stress inducible metallothionein isoforms from *Prosopis juliflora* (SW) DC show differences in binding to heavy metals in vitro. **Mol. Genet. Genomics** 281, 99–108. 2009. doi: 10.1007/s00438-008-0398-2

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões propostas para o bioma caatinga. *Associação Plantas do Nordeste*. **The Nature**

VIEIRA, R. M. D.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S. et al. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 224-240, 2021.

XIN, C.; WANG, J.; YANG, J.; ZHAO, T. Seasonal Dynamics in Forest Soil Seed Banks along an Elevational Gradient in the Rocky Mountainous Area of North China. **Forests**, v. 12, n. 10, p. 1318, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12101318>

XU, L.; DU, H.; ZHANG, X. Spatial Distribution Characteristics of Soil Salinity and Moisture and Its Influence on Agri-cultural Irrigation in the Ili River Valley, China. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7142, 2019.

ZHAO, Z.; LIU, Y.; JIA, H.; SUN, W.; MING, A.; PANG, S.; AN, N.; ZHANG, J.; TANG, C.; DONG, S. Influence of Slope Direction on the Soil Seed Bank and Seedling Regeneration of *Castanopsis hystrix* Seed Rain. **Forests**, n. 12, v. 500,

2021. <https://doi.org/10.3390/f12040500>

ZOU, C.; MARTINI, F.; XIA, S.; CASTILLO-DIAZ, D.; GOODALE, U. M. Elevation and micro environmental conditions directly and indirectly influence forests' soil seed bank communities, **Global Ecology and Conservation**, v. 26, 2021.