



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

MARIA MARIANA FREIRE DE OLIVEIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DO PAPEL DAS HERBÁCEAS FACILITADORAS
SESUVIUM PORTULACASTRUM (AIZOACEA) E *BATIS MARITIMA* (BATACEA)
NO RECRUTAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE *AVICENNIA GERMINANS*
(ACANTHACEAE) EM UMA ÁREA DE MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NO
ESTUÁRIO DO RIO PACOTI, CEARÁ**

**FORTALEZA
2022**

MARIA MARIANA FREIRE DE OLIVEIRA

ANÁLISE TEMPORAL DO PAPEL DAS HERBÁCEAS FACILITADORAS *SESUVIUM*
PORTULACASTRUM (AIZOACEA) E *BATIS MARITIMA* (BATACEA) NO
RECRUTAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE *AVICENNIA GERMINANS*
(ACANTHACEAE) EM UMA ÁREA DE MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NO
ESTUÁRIO DO RIO PACOTI, CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra

FORTALEZA
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira, Maria Mariana Freire de.

ANÁLISE TEMPORAL DO PAPEL DAS HERBÁCEAS FACILITADORAS SESUVIUM
PORTULACASTRUM (AIZOACEA) E Batis maritima (Bataceae) NO RECRUTAMENTO E
DESENVOLVIMENTO DE Avicennia germinans (ACANTHACEAE) EM UMA ÁREA DE
MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI, CEARÁ / Maria Mariana Freire
de Oliveira. – 2023.

59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra .

1. Facilitação. 2. Ecologia. 3. Recuperação de mangue. 4. Sucessão ecológica. I. Título.

CDD 551.46

MARIA MARIANA FREIRE DE OLIVEIRA

ANÁLISE TEMPORAL DO PAPEL DAS HERBÁCEAS FACILITADORAS *SESUVIUM PORTULACASTRUM* (AIZOACEA) E *BATIS MARITIMA* (BATACEA) NO RECRUTAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE *AVICENNIA GERMINANS* (ACANTHACEAE) EM UMA ÁREA DE MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI, CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra (Orientador)
Instituto de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alexander Cesar Ferreira
Instituto de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Carolina Villavicencio Bracho
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais Sandra e Marcos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a concessão da bolsa de Iniciação Científica (IC).

Ao Instituto de Ciências do Mar - Labomar por todo conhecimento adquirido ao longo da minha formação como oceanógrafa e pelo apoio oferecido com toda sua estrutura para a conclusão do presente trabalho.

Ao laboratório de Zoobentos pelo espaço e equipamentos oferecidos para a execução do trabalho.

Ao Prof. Dr. Luís Ernesto, por ter me acolhido e ter confiado em mim para dar continuidade ao projeto, por estar presente durante as coletas nos oferecendo apoio, pelo conhecimento repassado e pela paciência ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Aubains Hounsou pelos conselhos e conhecimentos sobre análises de dados.

Ao meu amigo e colega de curso Tobias Rafael por nunca me deixar na mão durante todas as coletas de campo, sempre deixando o trabalho muito mais leve, rápido e engraçado. A Lídia Rodrigues pela presença durante as coletas, pelos momentos compartilhados e pelo apoio oferecido ao longo do estudo. A Natália Beloto por nossas “conversas de corredor” que sempre foram muito produtivas que me faziam sempre olhar as coisas de um outro ângulo e por oferecer apoio nos campos. A Cristina Nascimento pelo interesse quanto ao trabalho e ajuda nas coletas.

A Carolina Bracho por ter me dado suporte e apoio quando mais precisei, por ter sido sempre muito paciente comigo e disposta a me ajudar sempre com muito bom humor, nossas trocas de conhecimento foram fundamentais na reta final da pesquisa.

Ao prof. Alexander Ferreira, por aceitar fazer parte da banca e pelas valiosas sugestões.

Ao meu grupo de amigos do curso que deixaram a graduação mais fácil de lidar, sempre apoiando um ao outro. Aos meus amigos que sempre acreditaram em mim e me incentivaram. Ao Joaquim Neto pelo apoio emocional e pelo encorajamento.

À minha mãe, Sandra, e ao meu pai, Marcos, que deram todo suporte que eu precisei e todo esforço dedicado a mim para alcançar meu crescimento profissional e pessoal. Ao meu irmão, Matheus, que tirou algumas dúvidas e me apoiou.

A todos meu obrigada!

RESUMO

A facilitação, também conhecida como “efeito enfermeiro”, ocorre quando uma planta atenua condições não favoráveis e melhoram o ambiente para o estabelecimento de outra. Este efeito foi observado em herbáceas pioneiras no ecossistema de manguezal e, por mais que demonstre desenvolver um papel crucial em ecossistemas com condições de estresse ambiental, os estudos científicos ainda são escassos. No manguezal, a facilitação ocorre de forma física, que seria o recrutamento, aprisionamento/retenção dos propágulos e plântulas de mangue a partir da complexidade física da herbácea, atuando como um suporte. A outra forma de facilitação é o melhoramento nas condições físico-químicas do solo por meio da sua fisiologia, alterando a composição do sedimento, permitindo o crescimento e a sobrevivência dos propágulos e das plântulas de mangue. Para o experimento foram divididos, no Estuário do Rio Pacoti - Ceará, tratamentos com indivíduos de *A. germinans* com presença de manchas de cada espécie halófitas e uma área controle adjacente às manchas, sem a presença de halófitas. Foram estabelecidas aleatoriamente na área de estudo 15 parcelas de 4 m², sendo 5 parcelas para manchas de cada espécie de facilitadora, *S. portulacastrum* e *B. maritima*, e 5 parcelas na área controle. Durante o período do estudo, de Dez/21 até Ago/22, os indivíduos da espécie de mangue foram contabilizados. A partir de Fev/19 os indivíduos juvenis de *A. germinans* foram etiquetados com lacres numerados para serem medidos em cada parcela. Com isto foram realizadas medições da altura dos indivíduos etiquetados, para o monitoramento do crescimento, foram realizadas com fita métrica, do solo até a gema apical em plantas com altura superior a 15 cm. A taxa de crescimento foi calculada mensalmente para cada indivíduo subtraindo a altura final (Hf) da altura inicial (Hi), dividindo pelo número de dias transcorridos entre uma amostragem e outra (d). Também foram realizadas amostragens de parâmetros ambientais como salinidade, temperatura e amostras de sedimento. Na APA do estuário do Rio Pacoti, uma área em recuperação, observou-se maiores densidades de *A. germinans* em manchas com *S. portulacastrum* com (19,62±13,78 ind/m²) (méd±desv.p), seguido dos valores de *Batis maritima* com (15,08±12,50 ind/m²) e, por último, os valores do Controle (8,65±8,36 ind/m²). Em relação às taxas de crescimento, as parcelas apresentaram valores semelhantes entre os tratamentos, *B. maritima* com (3,94 ± 3,95 cm/mês cm/mês), Controle com (3,76 ± 4,84 cm/mês) e *S. portulacastrum* (2,54 ± 2,92 cm/mês). As médias de salinidade foram mais acentuadas em *S. portulacastrum* (31,38 ± 26,98); seguido do Controle com (29,65 ± 26,43) e *B. maritima* com (28,57 ± 26,43). As médias de temperatura superficial foram menores no tratamento com *B. maritima* (32,21 ± 3,04°C); em seguida a área Controle (32,45 ± 3,19°C) e por último o tratamento com *S. portulacastrum* (32,41 ± 2,89°C). Estes resultados descrevem como o ambiente se comporta com a atuação das herbáceas e permite acompanhar as fases de sucessão ecológica do mesmo. Com isto, pode-se mostrar a importância de estudos como este em projetos de restauração de ecossistemas de manguezal, tal estudo pode servir de base para o manejo de áreas degradadas e futuros estudos ecológicos deste ambiente tão dinâmico.

Palavras-chave: Facilitação, Ecologia, Recuperação de mangue, Sucessão ecológica.

ABSTRACT

Facilitation, also known as "nurse effect", occurs when one plant attenuates unfavorable conditions and improves the environment for the establishment of another. This effect has been observed in pioneer herbaceous plants in the mangrove ecosystem and, as much as it is shown to develop a crucial role in ecosystems with environmentally stressful conditions, scientific studies are still scarce. In the mangrove, facilitation occurs in a physical way, which would be the recruitment, trapping/retention of mangrove propagules and seedlings from the physical complexity of the herbaceous, acting as a support. The other form of facilitation is the improvement in the physicochemical conditions of the soil through its physiology, changing the composition of the sediment, allowing the growth and survival of the mangrove propagules and seedlings. For the experiment, treatments were divided, in the Pacoti River Estuary - Ceará, with individuals of *A. germinans* with the presence of patches of each halophyte species and a control area adjacent to the patches, without the presence of halophytes. Fifteen 4 m² plots were randomly established in the study area, with 5 plots for patches of each facilitator species, *S. portulacastrum* and *B. maritima*, and 5 plots in the control area. During the study period, from Dec/21 until Aug/22, the individuals of the mangrove species were counted. From Feb/19 the juvenile individuals of *A. germinans* were tagged with numbered seals to be measured in each plot. With this, height measurements of the labeled individuals were taken, for monitoring growth, were taken with a tape measure, from the soil to the apical bud in plants taller than 15 cm. The growth rate was calculated monthly for each individual by subtracting the final height (Hf) from the initial height (Hi), dividing by the number of days elapsed between one sampling and another (d). Sampling of environmental parameters such as salinity, temperature, and sediment samples was also carried out. In the APA of the Pacoti River estuary, an area under recovery, we observed higher densities of *A. germinans* in patches with *S. portulacastrum* with (19.62 ± 13.78 plants/m²) (med±dev.p), followed by *Batis maritima* values with (15.08 ± 12.50 plants/m²) and, lastly, the Control values (8.65 ± 8.36 plants/m²). Regarding growth rates, the plots showed similar values among treatments, *B. maritima* with (3.94 ± 3.95 cm/month cm/month), Control with (3.76 ± 4.84 cm/month) and *S. portulacastrum* (2.54 ± 2.92 cm/month). Salinity averages were highest in *S. portulacastrum* (31.38 ± 26.98); followed by Control with (29.65 ± 26.43) and *B. maritima* with (28.57 ± 26.43). Surface temperature averages were lowest in the *B. maritima* treatment (32.21 ± 3.04°C); then the Control area (32.45 ± 3.19°C) and lastly the *S. portulacastrum* treatment (32.41 ± 2.89°C). These results describe how the environment behaves with the action of herbaceous plants and allow us to follow the phases of its ecological succession. With this, we can show the importance of studies like this one in restoration projects of mangrove ecosystems, such study can serve as a basis for the management of degraded areas and future ecological studies of this dynamic environment.

Keywords: Facilitation, Ecology, Mangrove Restoration, Ecological Succession.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 10 etapas, segundo Bosire <i>et al.</i> , 2008, a serem seguidas para obter sucesso em projetos de recuperação de manguezais.....	16
Figura 2 - Modelo de Ecologia sobre Facilitação: a) (i) e (ii) Reconhece que a facilitação pode expandir os espaço do nicho fundamental a partir da mitigação de fatores estressantes; b) As interações entre as espécies geralmente compreendem em componentes competitivos e facilitadores; c) (i), (ii), (iii) Sucesso de recrutamento em relação à riqueza das espécies; d) Diversidade de espécies.....	17
Figura 3 - Mapa de localização da APA do Rio Pacoti - CE.....	19
Figura 4 - Gráfico pluviométrico do Município de Eusébio - CE.....	20
Figura 5 - Manguezal do Rio Pacoti-CE. A - Região com os quadrados amostrais (em amarelo) com as manchas de <i>Sesuvium portulacastrum</i> (1), Controle (2) e <i>Batis maritima</i> (3). B - Parcelas estabelecidas na mancha de <i>S. portulacastrum</i> . C - Parcelas estabelecidas na área sem presença das espécies facilitadoras (Controle). D - Parcelas estabelecidas na mancha de <i>Batis maritima</i>	22
Figura 6 - A) Quadrante do tratamento de <i>B. maritima</i> ; B) Indivíduos de <i>A. germinans</i> etiquetados; C) Coleta dos dados.....	23
Figura 7 - Gráfico boxplot das densidades de <i>A. germinans</i> durante as estações ao longo do estudo.....	30
Figura 8 - Gráfico boxplot da série temporal das médias de densidade durante todos os meses e anos do estudo.....	30
Figura 9 - Gráfico boxplot da série temporal das médias das taxas de crescimento durante todos os meses e anos do estudo.....	32
Figura 10. Gráfico boxplot das densidades de <i>A. germinans</i> durante as estações ao longo do estudo.....	33
Figura 11 - Representação gráfica do GLM, correlacionando as variáveis (y) e (x)	36
Figura 12 - Série temporal do comportamento dos parâmetros ambientais Temperatura e Salinidade no decorrer do estudo.....	38

Figura 13 - Correlações: (i) Taxa de crescimento em relação a Temperatura; (ii) Taxa de crescimento em relação a Salinidade; (iii) Densidade em relação a S; (iv) Densidade em relação à Salinidade.....	39
Figura 14 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.....	39
Figura 15 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.....	40
Figura 16 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.....	40
Figura 17 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.....	41
Figura 18 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento por estação do ano.....	41
Figura 19 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de salinidade para cada tratamento por estação do ano.	42
Figura 20 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento por estação do ano.....	43
Figura 21 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de salinidade para cada tratamento por estação do ano.....	43
Figura 22 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação às médias pluviométricas para cada tratamento por estação do ano.....	44
Figura 23 - Gráfico das médias de densidade em relação às médias pluviométricas para cada tratamento por estação do ano.....	45
Figura 24 - Análise granulométrica dos sedimentos: no tratamento com presença de <i>S. portulacastrum</i> (superior), com presença de <i>B. maritima</i> (meio) e na área Controle (inferior).....	46
Figura 25 - Gráfico com os valores de Matéria Orgânica (M.O) para cada tratamento (S: parcelas com <i>S. portulacastrum</i> ; B: parcelas com <i>B. maritima</i> e C: área Controle).....	47

Figura 26 - Gráfico dos valores de Umidade do Solo em relação para cada tratamento no decorrer dos anos de 2018 e 2019.....48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Delineamento Experimental do estudo.....	25
Tabela 2 - PERMANOVA de densidades de <i>A. germinans</i> e seus respectivos fatores e interações entre os mesmos.....	29
Tabela 3 - Teste <i>a posteriori</i> entre os anos de estudo em relação à PERMANOVA de densidades dos indivíduos de <i>A. germinans</i>	29
Tabela 4 - PERMANOVA das taxas de crescimento de <i>A. germinans</i> e seus respectivos fatores e interações entre os mesmos.....	31
Tabela 5 - Sumário de modelos construídos e seus respectivos valores de AIC.....	34
Tabela 6 - GLM escolhido para explicar os dados, neste é a variável resposta Taxa de Crescimento (y) em relação a variável Densidade (x) somado aos fatores Tratamento e Mês/Ano.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	Materiais e métodos	19
3.1	Área de Estudo	19
3.2	Métodos de amostragem	21
3.2.1	<i>Amostragem de dados bióticos</i>	21
3.2.2	<i>Amostragem de parâmetros ambientais</i>	23
3.2.2.1	<i>Salinidade, temperatura e pluviometria</i>	23
3.2.2.2	<i>Análises sedimentológicas</i>	23
3.3	Análises estatísticas	24
3.3.1	Delineamento Experimental	24
3.3.2	Análise do efeito da facilitação sobre a Densidade e Taxa de crescimento de <i>A. germinans</i>	25
3.3.3	Modelos Lineares Generalizados (GLM)	26
3.3.3.1	<i>Justificativa para modelagem estatística dos dados</i>	26
3.3.3.2	<i>Construção do modelo</i>	27
3.3.3.3	<i>Seleção do modelo</i>	28
3.3.4	Parâmetros Ambientais	28
4	Resultados	28
4.1	Efeito da facilitação sobre as densidades de <i>A. germinans</i>	28
4.2	Efeito da facilitação sobre as taxas de crescimento de <i>A. germinans</i>	31
4.3	GLM e relações de denso-dependência sobre as taxas de crescimento	33
4.4	Parâmetros ambientais	35
4.4.1	<i>Temperatura, salinidade e pluviometria</i>	37
4.4.2	<i>Análises sedimentológicas</i>	45
5	Discussão	48
6	Conclusão	52
7	Referências bibliográficas	54
	Anexos	

1. Introdução

Os manguezais são ecossistemas que estão localizados nas regiões tropicais e subtropicais do planeta, sendo distribuídos nas latitudes entre 30°N e 30°S, com um desenvolvimento mais acentuado próximo a Linha do Equador, latitudes entre 5°N e 5°S (Giri *et al.*, 2011). Em todo o planeta há cerca de 170.600 km² de área de manguezais (Lacerda, 2002), no Brasil encontra-se uma área atual com cerca de 9.900km² (Diniz *et al.*, 2019) o que representa aproximadamente de 5,8% de toda área existente em todo o mundo. Estes ecossistemas estão presentes em regiões costeiras, em terras baixas existentes dentro das zonas entre marés que, na maioria das vezes, são abrigados por rios, compreendendo um sistema estuarino de baixa ou alta complexidade (Souza *et al.*, 2018).

Este ambiente de transição entre dois ambientes, continental e marinho, comporta características ambientais e ecológicas específicas e bastante dinâmicas. Quanto a características ambientais temos: uma variação de salinidade diária, de uma forma geral, que ocorre conforme a subida, ambiente com alta salinidade, e descida da maré, ambiente com baixa salinidade (maré enchente e maré vazante, respectivamente), lembrando que nem todo caso é assim (alguns estuários podem haver a hipersalinidade do solo ocasionada outros fatores, o estuário pode ter pouco aporte fluvial, o que também interfere na variação de salinidade da área, dentre outros fatores), e de acordo com os períodos do ano, ou seja, depende da distribuição pluviométrica da região a qual o manguezal se encontra. A distância máxima da penetração da água salgada nos estuários determina o limite do manguezal em direção à terra firme (Correia *et al.*, 2005). Possui uma geomorfologia de substrato lamoso, sendo constituídos por uma granulometria, geralmente muito fina, ricos em siltes e argila. O sedimento de manguezal é inundado todos os dias pelas marés, trazendo e levando folhas, sementes, propágulos, larvas e formas juvenis de vários animais, entre os quais figuram moluscos, crustáceos e peixes. (Souza *et al.*, 2018). O mangue por conta da sua estrutura física consegue realizar a retenção de material e sedimentos, o que permite criar um ambiente deposicional e conseqüentemente anóxico, devido ao complexo físico acima do solo e estrutura de rebentos que as raízes das plantas oferecem.

Tendo vista todas particularidades e características dinâmicas, os ecossistemas de manguezal apresentam uma biodiversidade repleta de adaptações que permitem o estabelecimento e sobrevivência destes nesse tipo de ambiente, desde a fauna e flora até microorganismos específicos.

A vegetação composta por espécies do tipo halófila, denominadas de mangue, têm, geralmente, zonação horizontal (Correia *et al.*, 2005) compõem um grupo de árvores tropicais e sub-tropicais que compartilham características fisiológicas similares e adaptações especiais de que permitem que tais espécies cresçam em ambientes abrigados, banhados por águas salobras ou salgadas, com reduzida disponibilidade de oxigênio e substrato inconsolidado (Atlas dos manguezais no Brasil, 2018). Exemplos de adaptações para permanência e sobrevivência sob essas condições são: raízes aéreas, chamados de pneumatóforos, para captação de oxigênio (por conta do solo anaeróbico, com baixos teores de oxigênio), filtração do sal e depois os secretam por glândulas de sal presentes em suas

folhas, esta ação é realizada por algumas espécies de mangue, como por exemplo espécies do gênero *Laguncularia* e *Avicennia*.

O manguezal é um ecossistema de suma importância socioambiental por conta de funções ecológicas e serviços prestados para sociedade, tais como proteção da linha de costa contra eventos climáticos, prevenção da erosão costeira por meio da estabilização de sedimentos, área de repouso e berçário de espécies migratórias e nativas, valor econômico (sustento de comunidades extrativistas e ribeirinhas), filtro biológico e sequestro de carbono, assunto que está atual por conta das mudanças climáticas, entre outros. Qualquer perda de vegetação de mangue significa, portanto, uma perda de subsídios importantes para usos de subsistência e funções ecológicas, econômicas e de conservação (Valiela *et al.*, 2001).

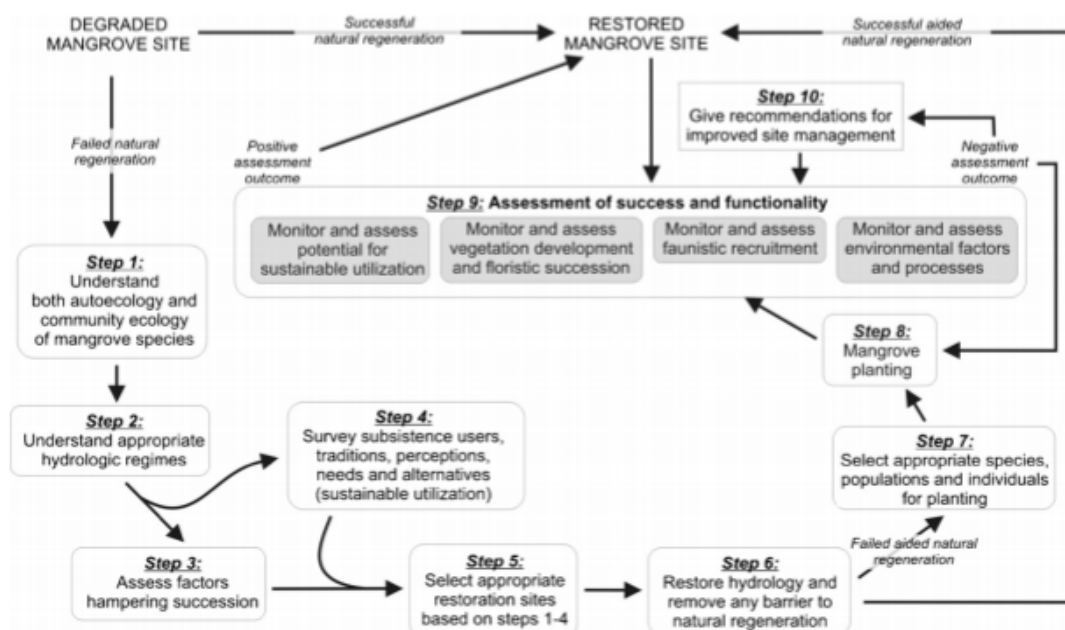
Mesmo com toda sua importância socioambiental, econômica e ecológica, estes ecossistemas são muito suscetíveis à degradação por atividades antrópicas a nível mundial. Para todos os continentes, a área de mangue atual é substancialmente menor do que a área original, com uma perda média mundial de 35%. Nos países com reduções na área de mangue, a porcentagem de perda aumentou à medida que aumentava o Produto Nacional Bruto (PNB). Esta dispersão pode ser atribuível em parte ao investimento estrangeiro e não ao nacional, refletindo subsídios monetários internacionais substanciais na maricultura a nível industrial e na exploração de madeira em chips (Valiela *et al.*, 2001).

Muitas atividades humanas específicas a níveis de subsistência, artesanal e industrial reduzem a área de mangues (Wolanski *et al.*, 2000); a nível de subsistência e artesanal há a coleta de mariscos, peixes, caranguejos e consumo local de madeira; a nível industrial há consumo de madeira, carvão vegetal, taninos, coleta de aparas de madeira e madeira serrada e, também, atividades de cultivo de animais intensivas. Pode-se citar também a perda de mangue para desenvolvimento agrícola, industrial e urbano. No Brasil, tínhamos como área original de mangue em 1985 cerca de 25.000 km² (Valiela *et al.*, 2001), entretanto estudos mais atuais apresentaram outros valores para o mesmo período, uma área de aproximadamente 9.700 km² (Diniz *et al.*, 2019). Atualmente encontra-se com uma extensão de cerca de 9.900 km², no entanto os anos de 2000, 2010 e 2013, respectivamente, as áreas aqui reportadas foram 4% a mais, 7% a mais e 28% a menos, respectivamente (Diniz *et al.*, 2019), temos como principais responsáveis por essas áreas destruídas no país as atividades de aquicultura e carcinicultura.

Apenas cerca de 5% de toda área degradada no país foi restaurada (Ferreira *et al.*, 2016). Por conta da preocupação com os ecossistemas manguezais, no final do século passado houve um aumento em iniciativas de projetos e pesquisas voltadas para a recuperação desses ambientes. A restauração ou reabilitação pode ser recomendada quando um ecossistema foi alterado de tal forma que já não pode autocorrigir-se ou auto-renovar-se. Nessas condições, os processos de sucessão secundária ou de recuperação natural são inibidos de alguma forma, geralmente isso ocorre quando há restrições hidrológicas e/ou uma remoção muito grande da vegetação. Outro fator que pode ser citado é a predação muito intensa dos propágulos (Bosire, 2008). Segundo Field (1997), a restauração de manguezal é o ato de devolver a este ecossistema suas condições o mais próximo possível das originais, ao renová-lo, recuperando-o para que possa ser utilizado novamente. Nestes casos tem

ênfatisado a plantaço de mangues como a principal ferramenta, o que não é um ponto positivo, uma vez que é necessário primeiro avaliar as causas da perda do ambiente, depois avaliar as oportunidades naturais de recuperaço e como facilitar tais esforos (Bosire, 2008). Assim, a maioria dos projetos de restauraço de mangues passa imediatamente à plantaço sem determinar a razão pela qual a recuperaço natural não ocorreu. A lógica usada para projetos de recuperaço de mangues teve mudanças lentas ao passar dos anos até obter um reconhecimento de que esses ecossistemas são bem diversificados (Bosire, 2008). De acordo com Ruiz-Jaen (2005) para o sucesso de projetos de recuperaço destes ambientes é preciso ter um conhecimento dessa “engenharia ecológica” (Figura. 1), seguindo os passos que foram citados, procurando literatura na área (aprendendo com os sucessos e fracassos passados), podendo agir mais eficazmente com base neste conhecimento, procurando executar uma restauraço mais eficiente. Sendo igualmente importante definir critérios de monitoramento de projetos de recuperaço para incluir os principais atributos do ecossistema, sendo eles: biodiversidade, estrutura da vegetaço e processos ecológicos.

Figura 1 - 10 etapas, segundo Bosire *et al.*, 2008, a serem seguidas para obter sucesso em projetos de recuperaço de manguezais.



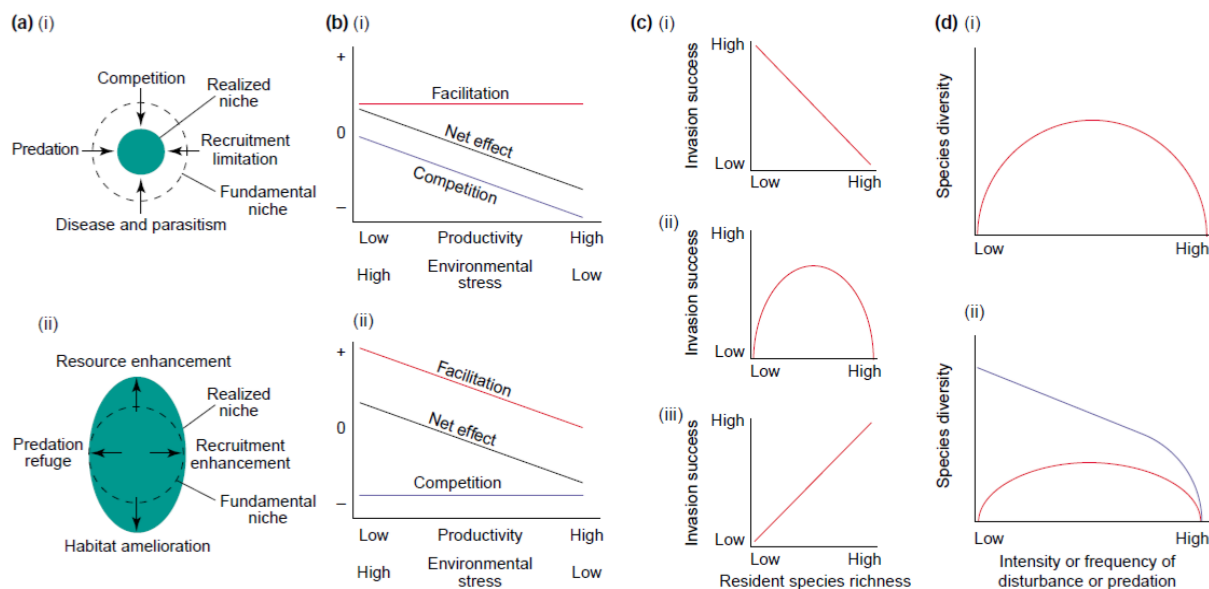
Fonte: Bosire *et al.*, 2008

Ao longo dos estudos, percebeu-se que o uso de monocultura espaçada para replantio de mangue poderia ser menos eficiente quando comparados a casos com maiores densidades e/ou com a presença de outras espécies de plantas. Isso ocorre devido à complexidade ambiental e estresse ambiental proporcionado pelas condições ambientais mais extremas. Por conta dessa relação entre a riqueza de espécies e o funcionamento dos ecossistemas gerou muito interesse e debate, observando-se o aumento da produtividade dos ecossistemas em relação a variedade de espécies vegetais, sendo atribuída a mecanismos como a facilitação, complementaridade de nichos e efeitos de seleção (Lang'at *et al.*, 2013)

As interações ecológicas positivas (facilitação) e negativas (competição) entre as plantas são mecanismos importantes que influem a dinâmica populacional e comunitária do ambiente. Nas últimas décadas, a facilitação recebeu uma certa atenção. Os estudos mostraram (Gedan *et al.*, 2009; Huxham *et al.*, 2019; Mckee *et al.*, 2007) que estas demonstram um papel crucial em ecossistemas com condições ambientais difíceis, tais como desertos, costas rochosas, zonas úmidas e áreas de manguezal, na qual as plantas estão sujeitas a estresse natural (Vogt *et al.*, 2014). Esta pode ser definida como uma interação ecológica positiva ou facilitadora entre organismos, beneficiando pelo menos um e sem causar danos a nenhum deles (Stachowicz e Bertness, 2003), na qual uma espécie pioneira altera as condições do meio, tornando-o mais favorável para outras espécies. O mecanismo mais conhecido de facilitação pode ser denominado como “efeito enfermeiro” (Figura 2). Ocorre quando uma planta atenua condições não favoráveis e melhoram o ambiente para o estabelecimento de outra. Esse efeito pode ser mútuo, para somente uma das espécies, ou negativo para um dos envolvidos, que ocorre quando no processo de sucessão ecológica, a espécie pioneira é excluída pela espécie facilitada (Huxham *et al.*, 2019).

Durante a fase de plântula, o indivíduo está muito vulnerável à dessecação, herbivoria e competição com outras plantas (Pugnari e Valladares, 2007). Desse modo, a presença de facilitadoras reduz a mortalidade de plântulas. Foi observado esse efeito em plantas herbáceas que facilitam as plantas de mangue e uma relação entre a densidade de plantas e a sobrevivência de diferentes espécies de mangue (Vogt *et al.*, 2014).

Figura 2 - Modelo de Ecologia sobre Facilitação: a) (i), (ii) Reconhece que a facilitação pode expandir os espaço do nicho fundamental a partir da mitigação de fatores estressantes; b) As interações entre as espécies geralmente compreendem em componentes competitivos e facilitadores; c) (i), (ii), (iii) Sucesso de recrutamento em relação à riqueza das espécies; d) Diversidade de espécies.



Fonte: Stachowicz e Bertness, 2003.

Com isto, segundo Gedan e Silliman (2009), os benefícios adquiridos por meio do uso da aplicação da teoria de facilitação na restauração de ecossistemas, como o mangue, podem estar associados a maiores densidades de indivíduos presentes no ambiente. Comunidades de

espécies pioneiras (facilitadoras), podem facilitar os processos de estabelecimento e sobrevivência da espécie facilitada, estando ligado a uma denso-dependência positiva, isto é, o aumento de densidade da espécie facilitadora implicará no aumento de densidade da espécie facilitada e pode refletir em uma melhor sobrevivência destas espécies, tendo um efeito oposto ao de competição. Como já citado, as herbáceas têm esse “efeito enfermeiro” em espécies de mangue. No estudo presente iremos avaliar a teoria da facilitação usando as herbáceas *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* em uma área de manguezal em recuperação na APA do Estuário do Rio Pacoti/CE. *Batis maritima* já foi citada como espécie que facilita o estabelecimento e crescimento de espécies de mangue, como por exemplo no estudo de Teutli-Hernández *et al.*, (2017) e no estudo de Peterson, (2012), que cita *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* na facilitação de retenção de propágulos da espécie de mangue preto *Avicennia germinans*.

Estudos que utilizam a facilitação como ferramenta no ecossistema manguezal são de suma importância, pois diferem de mecanismos convencionais usados em projetos de recuperação de mangue e são bastante efetivos sobre este ambiente, podendo servir de suporte e auxílio para futuros projetos de recuperação, ajudando na melhor decisão a ser tomada para cada situação, e em pesquisas e estudos científicos, tendo em vista a importância social, ecológica e econômica que estes ecossistemas nos proporcionam.

2. Objetivos

2.1. Objetivos Gerais

Analisar e estudar a influência das herbáceas facilitadoras *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* sobre o estabelecimento e desenvolvimento dos indivíduos da espécie de mangue preto *Avicennia germinans*, assim como acompanhar o processo de sucessão ecológica de uma área de manguezal em recuperação localizado na APA do Estuário do Rio Pacoti/ CE.

2.2. Objetivos Específicos

1. Estudar e avaliar a influência das herbáceas facilitadoras *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* sobre as taxas de crescimento da espécie de mangue preto *Avicennia germinans*;
2. Estudar e avaliar a influência das herbáceas facilitadoras *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* sobre os valores de densidade da espécie de mangue preto *Avicennia germinans*;
3. Estudar e analisar a influência das herbáceas facilitadoras *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* sobre os parâmetros ambientais: salinidade, temperatura, taxas de matéria orgânica, umidade e granulometria do sedimento associado a elas;
4. Comparar as taxas de crescimento das espécies de mangue estabelecidas em áreas com a presença das espécies herbáceas facilitadoras *Sesuvium portulacastrum* e *Batis*

maritima com aquelas que se desenvolvem em áreas sem a presença das pioneiras facilitadoras, e assim analisando a relação de denso-dependência de *A. germinans* associadas com as plantas facilitadoras.

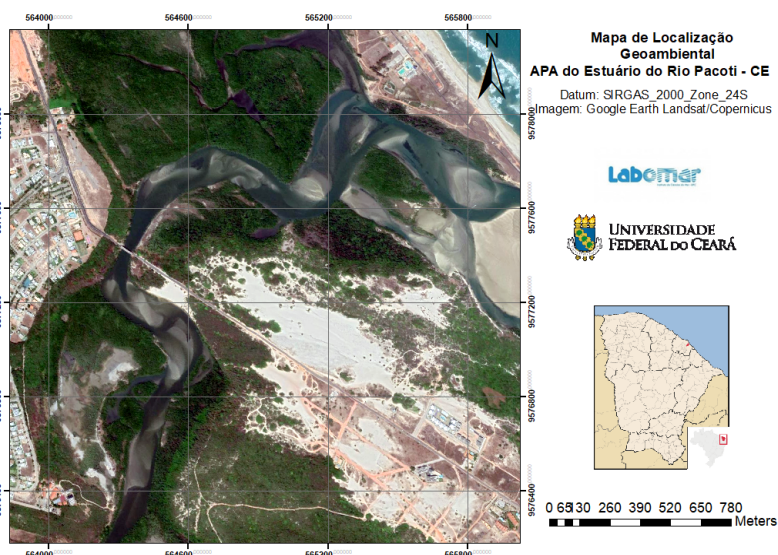
5. Analisar e acompanhar o comportamento da área após o desaparecimento das herbáceas facilitadoras dos tratamentos e acompanhar seu processo de sucessão ecológica.

3. Materiais e Métodos

3.1. Área de Estudo

O local escolhido para desenvolver o estudo é uma área de mangue em recuperação localizada na APA do Rio Pacoti ($3^{\circ} 43'' 02''$ S / $38^{\circ} 32'' 35''$ W) (Figura 3). Esta é uma Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável que tem como objetivo a conservação dos seus recursos naturais e biodiversidade, conciliando com ocupação humana de forma ordenada, criada por meio do decreto Nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000. Sua extensão abrange uma área de 2.914,93 hectares e localiza-se em três Municípios, Fortaleza, Eusébio e Aquiraz (SEMACE, 2010). A justificativa para a sua criação é proteger a sua riqueza e relevância dos ecossistemas presentes no entorno do Rio Pacoti, manguezal, cordão de dunas, mata de tabuleiro e ciliar, sendo uma região de equilíbrio ecológico bastante frágil e passível, portanto, de uma proteção especial a partir do poder público e da sociedade, além da importância de se preservar a bacia do Rio Pacoti para o abastecimento d'água de Fortaleza. (SEMACE, 2010).

Figura 3 - Mapa de localização da APA do Rio Pacoti -CE



Fonte: Elaborado por Carolina Bracho.

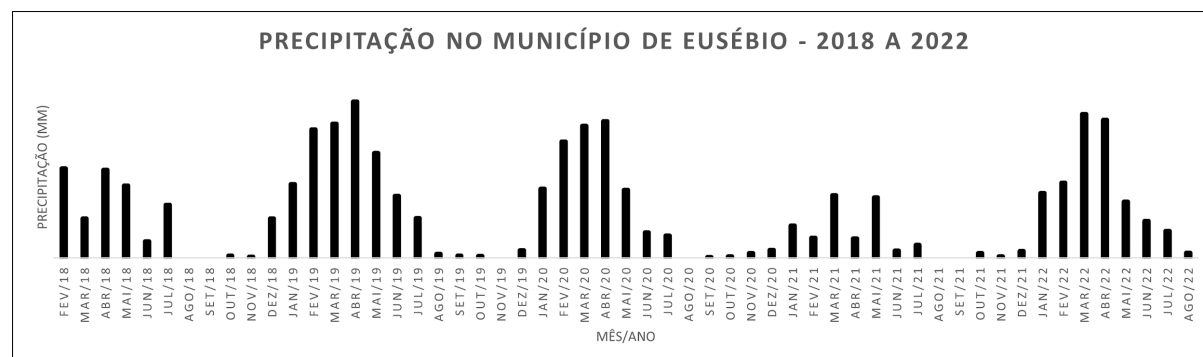
Uma estreita faixa de solos que acompanha a linha de costa é constituído por Neossolos Quartzarênicos Marinheiros e são colonizados por vegetação pioneira psamófila,

plantas que prosperam em áreas arenosas, representada por gramíneas, ciperáceas, além de espécies herbáceas. Os ambientes lacustres que se encontram nessa região podem (Gorayeb, 2005). As planícies flúvio-marinhas possuem relevo plano e têm sua dinâmica condicionada ao regime pluviométrico e a oscilação das marés, apresentam solos indiscriminados de mangue e floresta Perenifolia Paludosa Marítima. Esta caracteriza-se por possuir plantas halófitas, que compreendem as cinco espécies do Estado: *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* (mangue preto), *Laguncularia racemosa* (mangue branco), e *Conocarpus erectus* (mangue botão) (Gorayeb, 2005).

O estuário do rio Pacoti possui aproximadamente 15 km de comprimento, com cerca de 160 hectares de manguezal (Gorayeb, 2005), sendo sua vegetação mais marcante ao longo das margens do estuário a floresta de mangue, que se alonga cerca de 15 km a partir da foz do rio, o qual compreende uma área estimada de 150 km (SEMACE, 2010). A fauna, devido a grande variedade de ecossistemas, é muito diversificada. As áreas de mangue são compostas por diversos animais, desde microorganismos até moluscos, crustáceos, peixes, aves, répteis e mamíferos, ocupando os sedimentos, a água, as raízes e os troncos de árvores (Gorayeb, 2005).

O clima o qual o estudo se encontra é o Tropical Quente Subúmido, com temperatura média entre 26° a 28° C° (FUNCEME/IPECE, 2009), esse tipo de clima caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação (Golfari et al., 1978). O período chuvoso concentra-se entre os meses de janeiro e maio, no entanto, no mês de dezembro pode-se observar o início das precipitações, com as chuvas de pré-estação, e estender-se até os meses de junho ou julho, conforme a atuação das condições oceânicas, tendo em vista que o estado está sobre influência da migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Bracho, 2020) (Figura 4). As condições ambientais características deste ambiente citadas acima, podem se encaixar como um fator de estresse ambiental para a vegetação local, já que há um período seco, este tende a afetar o desenvolvimento destas vegetações.

Figura 4 - Gráfico pluviométrico do Município de Eusébio - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

A região do Estuário do Rio Pacoti tem um histórico de intervenções antrópicas. Dentre os principais impactos ambientais decorrentes da inadequada utilização dos recursos naturais estão a poluição hídrica, desmatamento da vegetação nativa, especialmente a vegetação de manguezal e dunas, o desencadeamento de processos erosivos e assoreamento do rio que, como consequência, ocorre a diminuição da biodiversidade local, isto decorrente de instalações de empreendimentos, estabelecimento turísticos e de lazer, entre outros (Gorayeb, 2005). No local em que estudo está inserido, apesar de ser uma UC, por volta da década de 1950 foi instalada uma salina que somente foi desativada na década de 1980 sem nenhum tipo de controle ambiental ou manejo (Bracho, 2020). Após a sua desativação, ocorreu um pequeno grau de colonização em algumas áreas, sendo preferencialmente colonizadas por *Avicennia germinans* e espécies halófitas herbáceas. (Menezes, 2006). No entanto, não foi o suficiente para o ambiente recuperar-se sozinho, pois as estruturas deixadas pela antiga salina, os tanques de evaporação de sal (diques), formaram uma barreira topográfica que impedia a entrada de água doce, oriunda do rio, o que provocou a hipersalinização do solo.

A forma de mitigar usada para esta problemática foi realização do projeto de recuperação hidrológica no local de estudo, o qual foi iniciado em 2017, por meio da abertura de quatro canais de 1 m de largura por 30 cm de profundidade, permitindo que haja a conexão entre a área de mangue e o rio. Através da abertura desses canais foi observada a entrada de halófitas pioneiras das espécies *Sesuvium portulacastrum*, *Batis maritima* e *Sporobolus* spp (Ferreira *et al.*, 2022).

3.2. Métodos de amostragem

3.2.1 Amostragem de dados bióticos

Foram selecionados no local escolhido para o estudo, em dezembro de 2017, uma área com duas manchas com a presença das herbáceas, sendo uma mancha com *S. portulacastrum* e outra mancha com a presença de *Batis maritima* tendo uma área de aproximadamente 300 m² (15 m x 20 m), e um tratamento só com a presença do mangue, sem a vegetação pioneira, que foi denominada de área controle. Foram estabelecidos, de maneira aleatória, cinco parcelas de 4 m² (2 m x 2 m) em cada uma das manchas e na área de controle, totalizando 15 parcelas de amostragem. As manchas e a área controle são próximas, o que significa que possuem as mesmas condições de inundação e topografia (Figura 5).

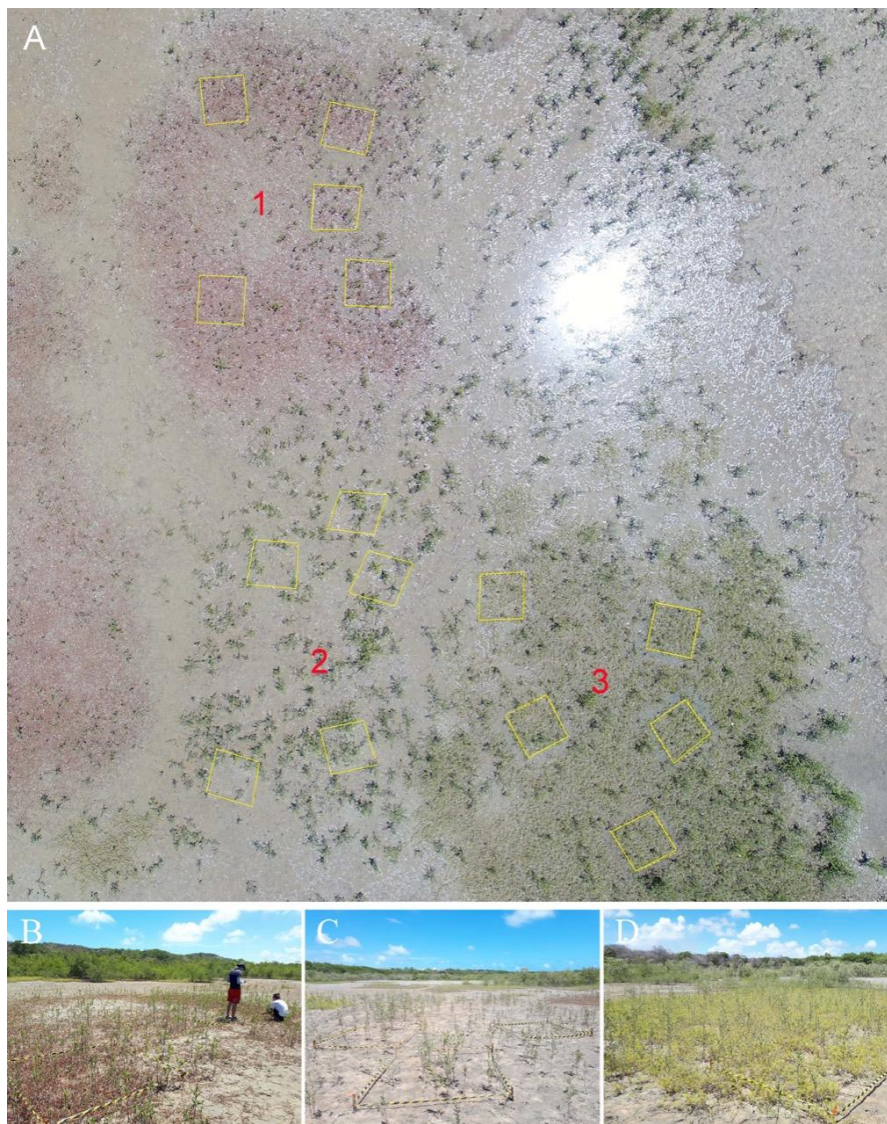
Nas coletas para a determinação de densidade foram contabilizados os indivíduos da espécie de mangue preto *A. germinans* com altura superior a 15 cm, que estão no estágio de plântulas (Pickens, 2019). Tais amostragens foram realizadas mensalmente no período de Dezembro de 2017 até Novembro de 2019 e, uma vez por ano em Dezembro de 2020 e Setembro de 2021, por conta da pandemia de COVID -19, e duas coletas no ano de 2022, no mês de Abril e no mês de Agosto.

Para a determinação da taxa de crescimento dos indivíduos, as plântulas foram etiquetadas com lacres de plástico seriados em cada tratamento e foram medidas

mensalmente desde Fevereiro de 2019, e uma vez por ano em Dezembro de 2020 e setembro de 2021, e duas coletas no ano de 2022, no mês de Abril e no mês de Agosto. Foram realizadas medições da altura das plântulas com fita métrica, do solo até a gema apical. O cálculo para determinar as taxas de crescimento foi subtraindo a altura final (H_f) da altura inicial (H_i) de cada indivíduo etiquetado, a diferença de altura foi dividida pelo número de dias transcorrido entre uma amostragem e outra (d) e multiplicado por 30 para obter um valor de crescimento da altura em centímetros mensal (Teutli-Hernández *et al.*, 2017).

Com o decorrer do monitoramento ficou perceptível que o crescimento individual das plântulas de mangue não tinha uma variação significativa, sendo decidido que as coletas seriam realizadas a cada dois meses a partir do mês de Abril de 2019

Figura 5 - Manguezal do Rio Pacoti-CE. A - Região com os quadrados amostrais (em amarelo) com as manchas de *Sesuvium portulacastrum* (1), Controle (2) e *Batis maritima* (3). B - Parcelas estabelecidas na mancha de *S. portulacastrum*. C - Parcelas estabelecidas na área sem presença das espécies facilitadoras (Controle). D - Parcelas estabelecidas na mancha de *Batis maritima*.



Fonte: Elaborado por Luis Ernesto Arruda Bezerra

Figura 6 - A) Quadrante do tratamento de *B. maritima*; B) Indivíduos de *A. germinans* etiquetados; C) Coleta dos dados.



Fonte: Autor

3.2.2. Amostragem de parâmetros ambientais

3.2.2.1. Salinidade, temperatura e pluviometria

As medições superficiais da salinidade e temperatura foram realizadas, respectivamente, pelos seguintes instrumentos: termômetro e refratômetro. Foram feitas medições em cada parcela dos tratamentos no mesmo período de tempo. Os valores pluviométricos usados para análises foram retirados do site FUNCEME.

3.2.2.2. Análises sedimentológicas

Foram realizadas coletas nos três tratamentos, manchas com a presença das herbáceas e na área controle, para análises sedimentológicas, sendo essas teor de matéria orgânica, percentual de umidade do solo e granulometria.

O *teor de matéria orgânica* será determinado a partir de uma adaptação do método de Dean (1974), onde porções de 2g de cada amostra serão submetidas à queima em forno tipo mufla a 450°C por duas horas. Em seguida, as amostras precisam ser resfriadas no dissecador,

um ambiente livre de umidade, e novamente pesadas. O cálculo do teor de matéria orgânica será determinado através da fórmula:

$$\text{MO} = \text{Pi} - \text{Pf} \quad (1)$$

Onde:

MO = matéria orgânica;

Pi = Peso inicial (antes da queima);

Pf = Peso final (depois da queima).

O *percentual de umidade* será determinado com amostras frescas recém trazidas do campo para o laboratório, onde foram pesadas e levadas à secagem na estufa por aproximadamente 48 horas. O teor de umidade de cada amostra foi determinado utilizando-se a seguinte expressão (ABNT, 1986):

$$h = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

h = teor de umidade do solo em porcentagem;

M1 = massa em gramas do solo úmido somada à massa do recipiente;

M2 = massa em gramas do solo seco somada à massa do recipiente;

M3 = massa do recipiente em gramas.

A *análise granulométrica* foi determinada a partir do seguinte processo: as amostras foram desidratadas em estufa a 60°C por 72h, as quais, após a secagem, foram quarteadas e pesadas em balança analíticas, separando-as por 100 g de sedimento. A fração lamosa foi separada por meio de peneiramento úmido em malha de 0,062 mm (4 phi). Já as partículas maiores que 0,062 mm foram submetidas ao peneiramento seco em uma bateria de 13 peneiras, com malhas variando de 0,062 a 4 mm, passando por um agitador mecânico por 15 minutos (Wentworth, 1922). Todas as frações obtidas foram pesadas e analisadas no programa ANASED 5.0 (Lima et al., 2001), seguindo a classificação granulométrica de Folk Ward (1957).

3.3. Análises estatísticas

3.3.1. Delineamento Experimental

Para realizar as análises estatísticas e assim poder explicar os padrões quanto a densidade e a taxa de crescimento de *A. germinans*, foi elaborado o seguinte delineamento experimental ou desenho experimental (Tabela 1):

I. Variáveis Respostas: Densidade (X) e Taxa de crescimento (Y);

II. Variação Temporal:

- a) *Fator Ano, com cinco níveis*: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022;
 b) *Fator Estação, com dois níveis*: Chuvoso e Seco, período de Janeiro a Julho e Agosto a Dezembro, respectivamente;
 c) *Fator Mês, com doze níveis*: Janeiro a Dezembro, todos os meses do ano;

III. Variação à facilitação:

- a) *Fator Tratamento, com três níveis e cada nível possui cinco réplicas (quadrantes com área de 4 m²)*: Controle, *B. maritima*, e *S. portulacastrum*.

Tabela 1 - Delineamento Experimental do estudo.

Variação Temporal			Variação à Facilitação		Variável Resposta	
Ano	Estação	Mês	Tratamento	Réplicas	Densidade (ind./m ²)	Taxa de crescimento (cm/mês)
2018	Chuvoso	Jan - Jul	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
	Seco	Ago - Dez	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
2019	Chuvoso	Jan - Jul	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
	Seco	Ago - Dez	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
2020	Chuvoso	Jan - Jul	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
	Seco	Ago - Dez	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
2021	Chuvoso	Jan - Jul	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
	Seco	Ago - Dez	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
2022	Chuvoso	Jan - Jul	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y
	Seco	Ago - Dez	Controle <i>B. maritima</i> <i>S. portulacastrum</i>	1,2,3,4,5 1,2,3,4,5 1,2,3,4,5	X	Y

Fonte: Autor

3.3.2. Análise do efeito da facilitação sobre a Densidade e Taxa de crescimento de *A. germinans*

Para obter os valores de densidade populacional, foi calculado considerando o número de indivíduos contados pela área total amostrada (soma das áreas dos quadrantes experimentais). Quanto aos valores de crescimento, foi calculado a taxa de crescimento relativo (TCR) subtraindo a altura final (Hf), medida no último mês de medição, da altura inicial (Hi), medida no primeiro mês (Fevereiro/2019) e dividindo o valor pelo número de dias amostrados (d) [TCR = (Hf-Hfi)/d] (Teutli-Hernández *et al.*, 2017).

Para realizar a comprovação da existência de facilitação por meio das herbáceas *B. maritima* e *S. portulacastrum* quanto ao estabelecimento (densidades) e desenvolvimento (taxas de crescimento) das espécies de mangue, foi previamente testado a normalidade dos dados, sabendo que dependendo do resultado há a escolha do teste de hipótese adequado. Por não serem dados de comportamento normal, as variáveis foram analisadas de maneira independente pelo teste de hipótese PERMANOVA univariado, usando a matriz de similaridade de distâncias Euclidianas com 999 permutações (Anderson, 2017). Esta análise estatística foi realizada no programa Rstudio usando o pacote *vegan*. O Fator Tratamento (com os três níveis: Controle, *B. maritima* e *S. portulacastrum*) e os fatores Ano, Estação e Mês ficaram estabelecidos como fatores fixos das análises. Os níveis do Fator Mês foram agrupados no Fator Estação de forma correspondente aos seus dois níveis (chuvoso e seco), que o mesmo agrupou-se no Fator Ano, nos níveis de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, como mostrado na Tabela 1. Foram também realizados testes de comparações múltiplas para detectar diferenças entre níveis de cada fator ou interações de fatores que pudesse resultar em diferenças significativas para cada variável avaliada, no caso das taxas de crescimento, foram juntamente incluídas as co-variáveis temperatura e salinidade, fatores aleatórios. O nível de significância utilizado sobre a comprovação das hipóteses levantadas foi de 0,05.

3.3.3. Modelos Lineares Generalizados (GLM)

3.3.3.1. Justificativa para modelagem estatística dos dados

Os dados passaram por testes estatísticos prévios para tomada de decisão sobre qual forma de análise seria mais adequada para o estudo, sendo estes: teste de normalidade utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov (<50) e graficamente por geração de histogramas para todos os dados coletados; teste de linearidade plotando regressões lineares através do teste F; teste de heterocedasticidade usando *betadisper* (função da linguagem R, baseada no método de TukeyHSD) e geração de gráficos nMDS (Escalonamento Multidimensional não-Métrico). Pelo fato dos dados não atenderem os pressupostos estabelecidos, se fez necessário a criação de um Modelo Linear Generalizado (GLM) para complementar os testes de PERMANOVA no que se refere aos dados de taxa de crescimento, pois os mesmos não apresentaram homogeneidade, o que pode influenciar na veracidade dos resultados.

A teoria da facilitação defende a existência de uma relação de denso-dependência positiva exercida pelas facilitadoras sobre a sobrevivência e desenvolvimento da espécie facilitada (Gedan & Silliman, 2009). Para a comprovação se há ou não uma influência de denso-dependência positiva das facilitadoras sobre o crescimento das espécies de mangue é preciso a construção de modelos que possam explicar coerentemente os dados observados. Visto o comportamento da matriz de dados, citado anteriormente, optou-se pela aplicação de Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Lineares Generalizados de Efeitos Mistos (GLMER) (Faraway, 2006; Pérez, 2022).

3.3.3.2. Construção do modelo

Um GLM é definido através da especificação de dois componentes. A resposta deve ser um membro da distribuição familiar exponencial e a função de ligação ou função “link” descreve como a média da resposta e uma combinação linear dos preditores estão relacionados. (Faraway, 2006)

Para avaliar o comportamento das de taxas de crescimento em relação aos fatores e as densidades foram definidos modelos em que a variável dependente eram as taxas de crescimento (y) em relação ao Fator Tratamento (Controle, *B. maritima* e *S.portulacastrum*) e outros os quais ficou estabelecido taxas de crescimento como variável dependente (y) e densidades (x) como variável independente.

A matriz de dados do estudo é composta por dados contínuos e não-normais, por este motivo a família Gamma foi escolhida para modelá-los com um melhor ajuste da variável resposta (y), no caso taxas de crescimento. A função Gamma é definida como (Pérez, 2022):

(3)

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-z} z^{x-1} dz$$

Dentro da família Gamma há três alternativas de função de ligação: (i) **identity** (Modelo de média aritmética aditiva), (ii) **log** (Modelo de média aritmética multiplicativa) e (iii) **inverse** (Yoshida, 2013; Pérez, 2022). Após realizar testes usando as três funções de ligação, a função **log** obteve uma modelagem mais eficiente quanto aos dados, apresentando sempre menores valores do Critério de Informação de Akaike (AIC).

A construção dos modelos deu partida do mais complexo, modelo 0, recorrendo ao pacote glmmML e função glm:

```
> Modelo0 <- glm (taxas) ~ densidades, family = Gamma (link = “log”), data= data).
```

Para testar a eficiência de cada modelo em relação aos ajustes dos dados foram realizados testes usando a função pchisq, cujo valor resultante menor a 0,05 indicava a ineficiência do modelo no quesito explicação. Posteriormente foram sendo adicionados os fatores presentes no delineamento experimental do estudo, fazendo com que aumentasse a sua complexidade.

Também foram construídos modelos considerando as co-variáveis (Temperatura e Salinidade) através do pacote lme4 e usando a função *glmer*.

3.3.3.3. Seleção do modelo

A escolha do modelo mais adequado dentre os GLM e GLMER foram utilizado dois métodos: (i) comparações por meio da ANOVA utilizando o teste *Chisq* (Quiquadrado) entre cada GIM e (ii) Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc):

$$AICc = AIC + \frac{2k^2 + 2k}{n - k - 1} \quad (4)$$

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (5)$$

Ambos os métodos foram realizados no programa Rstudio usando, respectivamente, a função *ANOVA* e a função *AICctab* do pacote *bbmle*.

3.3.4. Parâmetros Ambientais

Para a análise dos parâmetros de temperatura, salinidade, pluviometria, umidade do solo e matéria orgânica passaram pelo teste de hipóteses PERMANOVA com objetivo de observar diferenças significativas entre os tratamentos. Estes dados também foram utilizados em correlações múltiplas com densidade e taxa de crescimento em análises já citadas, sendo realizadas no programa Rstudio.

Em 2019 foram realizadas análises dos dados de granulometria, estas ocorreram no programa ANASED, desenvolvido pelo LGMA do Departamento de Geologia da UFC (Lima *et al.*, 2001), seguindo a classificação de LARSONNEUR (1977).

4. Resultados

4.1. Efeito da facilitação sobre as densidades de *A. germinans*

Os valores de densidade entre as áreas apresentaram o mesmo padrão durante todos os anos do estudo, sendo maiores na área de *S. portulacastrum* (média \pm desvio padrão) ($19,62 \pm 13,78$ ind/m²), seguido de *B. maritima* ($15,08 \pm 12,50$ ind/m²) e, com os menores valores de densidade, na área pertencente ao controle ($8,65 \pm 8,36$ ind/m²) (Figura 7 e 8).

Tabela 2 - PERMANOVA de densidades de *A. germinans* e seus respectivos fatores e interações entre os mesmos.

```

Permutation test for adonis under reduced model
Terms added sequentially (first to last)
Permutation: free
Number of permutations: 999

adonis2(formula = Densidade ~ Tratamento + Estacao + Ano + Mes + Tratamento *
  Estacao + Tratamento * Mes + Tratamento * Ano + Ano * Estacao + Ano * Mes +
  Estacao * Mes, data = dados, permutations = 999, method = "euclidean")

```

	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)	
Tratamento	2	7203	0.13020	116.8424	0.001	***
Estacao	1	6906	0.12483	224.0395	0.001	***
Ano	1	22956	0.41496	744.7779	0.001	***
Mes	10	2942	0.05318	9.5454	0.001	***
Tratamento:Estacao	2	530	0.00959	8.6027	0.001	***
Tratamento:Mes	20	296	0.00535	0.4801	0.977	
Tratamento:Ano	2	476	0.00860	7.7143	0.001	***
Estacao:Ano	1	1608	0.02906	52.1624	0.001	***
Ano:Mes	7	3004	0.05431	13.9246	0.001	***
Residual	305	9401	0.16993			
Total	351	55322	1.00000			

```

---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Fonte: Autor

O teste PERMANOVA apresentou diferenças significativas quanto aos valores de densidade entre fatores: Tratamento, Estação, Ano e Mês. No entanto, a interação Tratamento e Mês não foi estatisticamente significativa. A partir do teste *a posteriori*, pôde-se observar com clareza quais tratamentos deram diferenças significativas entre si: a diferença entre Controle e *B. maritima*; Controle e *S. portulacastrum* e, por último, *B. maritima* e *S. portulacastrum*, todos apresentaram, respectivamente, diferenças significativas. Demonstrando que as herbáceas atuaram na facilitação do recrutamento de novos indivíduos de *A. germinans*. Os anos apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Teste *a posteriori* entre os anos de estudo em relação à PERMANOVA de densidades dos indivíduos de *A. germinans*.

```

[1] "Multiple comparison test after kruskal-wallis"

$signif.level
[1] 0.05

$dif.com

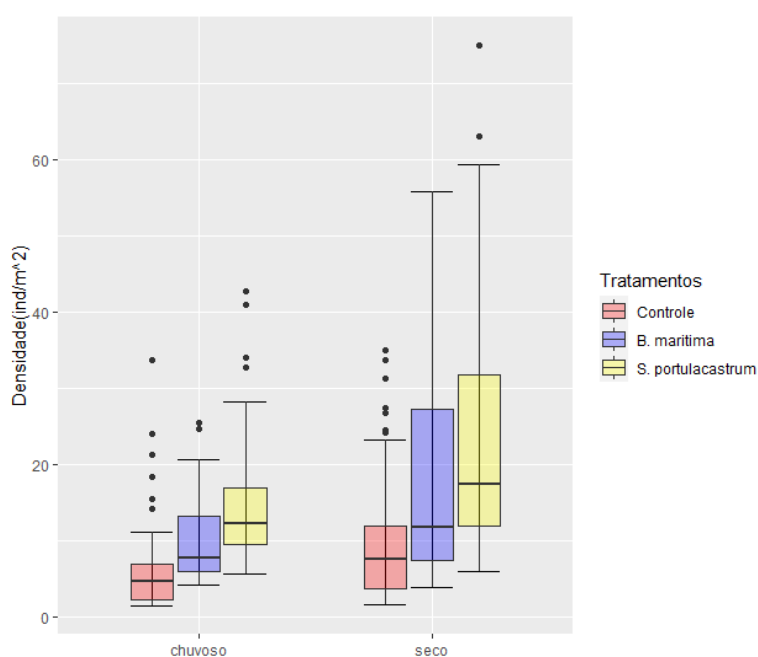
```

	obs.dif	critical.dif	difference
2017-2018	28.214286	77.16446	FALSE
2017-2019	92.847573	79.26509	TRUE
2017-2020	218.466667	104.73083	TRUE
2017-2021	215.400000	104.73083	TRUE
2017-2022	190.266667	104.73083	TRUE
2018-2019	64.633287	35.61968	TRUE
2018-2020	190.252381	77.16446	TRUE
2018-2021	187.185714	77.16446	TRUE
2018-2022	162.052381	77.16446	TRUE
2019-2020	125.619094	79.26509	TRUE
2019-2021	122.552427	79.26509	TRUE
2019-2022	97.419094	79.26509	TRUE
2020-2021	3.066667	104.73083	FALSE
2020-2022	28.200000	104.73083	FALSE
2021-2022	25.133333	104.73083	FALSE

Fonte: Autor

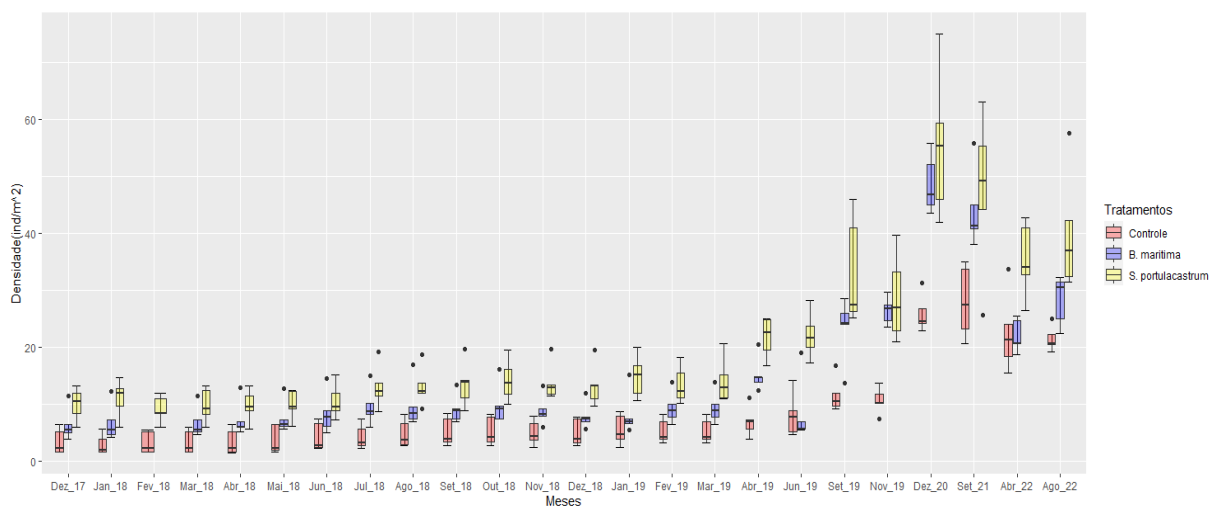
Em relação às Estações observou-se um padrão estatisticamente significativo durante o período seco e chuvoso, no qual os períodos secos apresentaram as maiores densidades durante os anos de estudo e durante os períodos chuvosos apresentaram um pequeno decréscimo quanto as estas médias de densidade (Figura 7). No entanto, as diferenças significativas entre os tratamentos dentro do período seco só foram observadas durante os anos de 2017 (Controle, *S. portulacastrum*) e 2018 (Controle, *B. maritima*; *S. portulacastrum* e *B. maritima*; Controle e *S. portulacastrum*), porém quando engloba todos os anos, os tratamentos durante este mesmo período não diferem significativamente entre si. Durante o período chuvoso dos anos de 2018, 2019 e 2022, os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si.

Figura 7 - Gráfico boxplot das densidades de *A. germinans* durante as estações ao longo do estudo.



Fonte: Autor

Figura 8 - Gráfico boxplot da série temporal das médias de densidade durante todos os meses e anos do estudo.



Fonte: Autor

Através do gráfico das médias (Figura 8) é possível observar o comportamento entre os tratamentos durante os meses e anos da pesquisa. Percebeu-se que houve um crescimento gradativo das médias de densidade durante Dezembro/2017 até Setembro/2021, ao chegar em Abril/2022 ocorreu declínio desses valores em todos os tratamentos, principalmente no tratamento *B. maritima*, Em sequência, no mês de Agosto/2022, ocorreu um acréscimo pequeno dessas médias e relação ao mês anterior.

4.2. Efeito da facilitação sobre as taxas de crescimento de *A. germinans*

As taxas médias do crescimento dos indivíduos de *A. germinans* foram maiores no tratamento com a presença da planta pioneira *B. maritima* (média \pm desvio padrão: $3.94 \pm 3,95$ cm/mês), seguido da área Controle ($3.76 \pm 4,84$ cm/mês) e *S. portulacastrum* com $2,54 \pm 2,92$ cm/mês).

O teste PERMANOVA apontou o Fator Tratamento como significativo (Tabela 4), entretanto, no teste *a posteriori* o tratamento com *B. maritima* e a área Controle não apresentaram diferenças significativas, assim como o tratamento com *S. portulacastrum* e a área Controle, mas quando o tratamento com *B. maritima* e *S. portulacastrum* foram comparados entre si, apresentaram diferenças significativas.

Tabela 4 - PERMANOVA das taxas de crescimento de *A. germinans* e seus respectivos fatores e interações entre os mesmos.

```
Permutation test for adonis under reduced model
Terms added sequentially (first to last)
Permutation: free
Number of permutations: 999

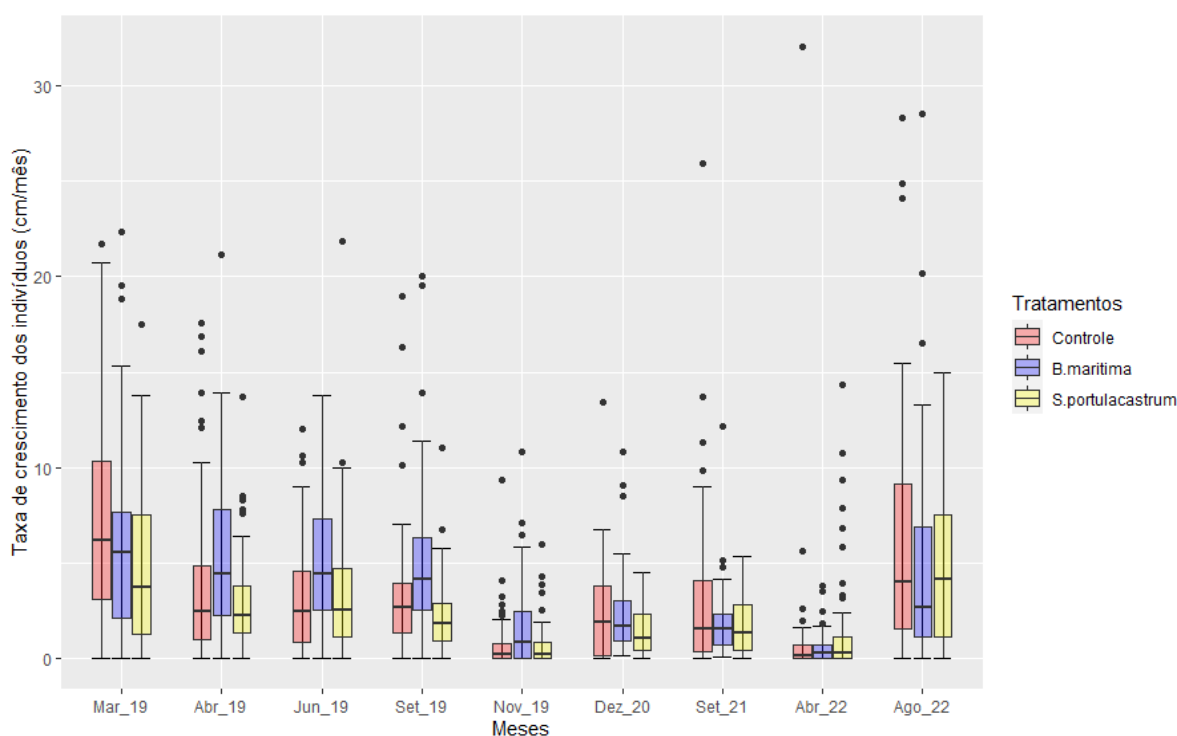
adonis2(formula = Taxa ~ Tratamento + Estacao + Ano + Mes + Tra
tamento * Estacao + Tratamento * Mes + Tratamento * Ano + Ano *
Estacao + Ano * Mes + Estacao * Mes, data = dados, permutation
s = 999, method = "euclidean")
      Df SumOfSqs      R2      F Pr(>F)
Tratamento      2    747.1 0.02762 30.5614 0.001 ***
Estacao          1    523.8 0.01937 42.8573 0.001 ***
Ano              7   3945.4 0.14589 46.1143 0.001 ***
Tratamento:Estacao  2     10.2 0.00038  0.4192 0.651
Tratamento:Mes     10    343.9 0.01271  2.8134 0.002 **
Tratamento:Ano     4     317.0 0.01172  6.4845 0.001 ***
Residual          1731  21156.8 0.78231
Total             1757  27044.1 1.00000
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Fonte: Autor

Os fatores Ano, Estação e Mês foram significativos, porém a interação Tratamento e Estação não foi estatisticamente significativa. Os meses que apresentaram diferenças significativas entre si no teste *a posteriori* foram: Junho/2019, Novembro/2019, Setembro/2021 e Abril/2022, mês que quando comparado aos outros teve um decréscimo significativo das taxas de crescimento dos indivíduos de *A. germinans* (Figura 9); Agosto/22 só teve diferença estatística quando comparado com Abril/2022, e Dezembro/2020 quando

comparado com Setembro de 2021. Durante quase todos os meses amostrados observou-se que os tratamentos de *B. maritima* e *S. portulacastrum* diferiram entre si até Dezembro de 2020, podendo demonstrar como as herbáceas podem atuar de maneiras distintas sobre o desenvolvimento da espécie facilitada. Nos meses de Junho e Novembro 2019, o tratamento de *S. portulacastrum* não difere do Controle, o que pode indicar que não houve facilitação por parte deste tratamento nestes meses, foi observado o contrário no tratamento de *B. maritima*, demonstrando ter facilitado em meses com condições estressantes mais elevadas, como a salinidade e temperatura. Quando trata-se do intervalo de Setembro/2021, Abril/2022 e Agosto/2022 os tratamentos não são estatisticamente diferentes, este fato pode estar relacionado a ausência das herbáceas facilitadoras no decorrer desta fase da pesquisa.

Figura 9 - Gráfico boxplot da série temporal das médias das taxas de crescimento durante todos os meses e anos do estudo.



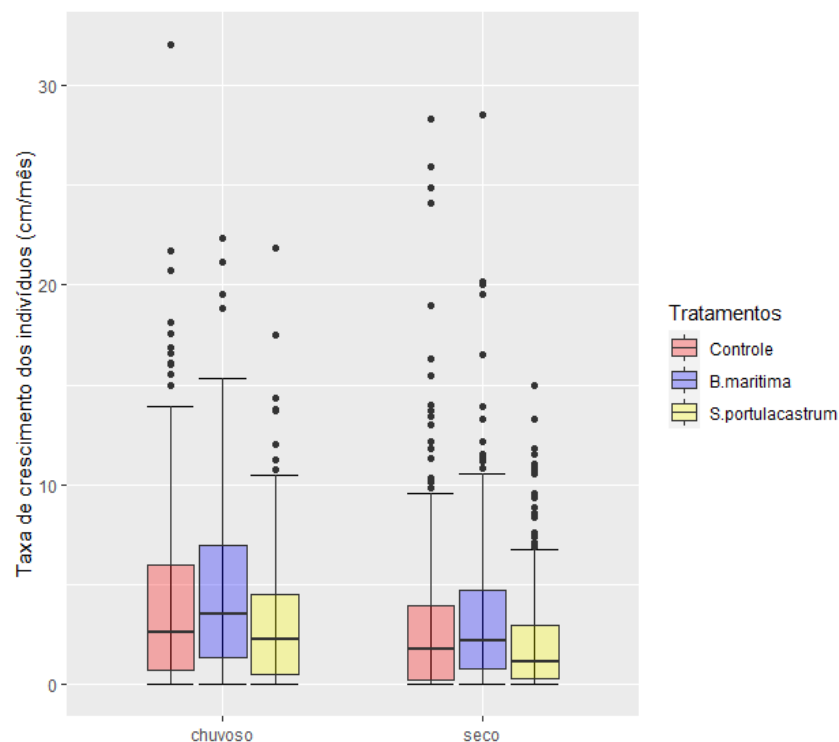
Fonte: Autor

De maneira geral, as manchas com *B. maritima* apresentaram taxas maiores, tanto no período chuvoso quanto no seco (Figura 10). Os dados amostrados como um todo apresentaram um padrão de maior crescimento durante o período chuvoso, já que este, por intermédio da precipitação, auxilia na mitigação de condições ambientais estressantes como a salinidade e a temperatura.

Ao analisar as taxas médias de crescimento em uma série temporal (Figura 9) notou-se que durante o período de influência das herbáceas, Março/2019 a Dezembro/2020, o tratamento com a presença de *B. maritima* obteve valores mais elevados que a área Controle e que o tratamento com a presença de *S. portulacastrum*, com exceção dos meses de Março/2019 e Dezembro/2020 os quais a área Controle ultrapassou os tratamentos das

plantas pioneiras. Na fase do estudo na qual as herbáceas não estavam mais exercendo influência sobre os indivíduos de *A. germinans*, os meses de Setembro/2021 e Agosto/2022, atentou-se que a área Controle passou a ter as maiores médias, mesmo que mais discreta, em relação as manchas das facilitadoras, seguido do tratamento com *S. portulacastrum* e depois o tratamento com *B. maritima*. O mês com o resultado mais atípico foi Abril/2022, pois neste mês os valores tiveram uma queda significativa mesmo durante o período chuvoso. Este fato pode estar ligado a chuvas intensas e constantes, durante todos os dias do mês de Março desse mesmo ano, o que pode levantar o questionamento “a partir de que momento os volumes pluviométricos deixam de ser positivos e passam a ser negativos para o desenvolvimento dos indivíduos de *A. germinans*”. O mês de Agosto/2022 também apresentou um comportamento fora do padrão quando trata-se de período seco, neste mês houve um aumento incomum das taxas de crescimento e podemos relacionar isto ao um efeito tardio das chuvas do período anterior (chuvoso).

Figura 10 - Gráfico boxplot das densidades de *A. germinans* durante as estações ao longo do estudo.



Fonte: Autor

4.3. GLM e relações de denso-dependência sobre as taxas de crescimento

Foram construídos ao total 19 modelos, dos quais 11 foram do tipo GLM e 8 do tipo GLMER. A comparação do menor Critério de Informação de Akaike (AIC) foi realizada por meio de uma ANOVA usando o teste *Chisq* (Tabela 5).

Tabela 5 - Sumário de modelos construídos e seus respectivos valores de AIC.

Modelo	Fórmula	AIC
glm0	<code><- glm(y ~ x , family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	545.04
glm1	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + , family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	546.65
glm2	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Estações, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	548.60
glm3	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Mês , family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	487.04
glm4	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Ano , family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	551.77
glm5	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Estações + Mês, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	487.04
glm6	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Estações + Mês + Ano, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	450.01
glm7	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Mês/Ano, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	450.01
glm8	<code><- glm(y ~ x + Tratamento + Estações, Mês/Ano, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	450.01
glm9	<code><- glm(y ~ Tratamento + Estações + Mês + Ano, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	448.10
glm10	<code><- glm(y ~ Tratamento + Estações + Mês, family = Gamma(link = "log"), data= data)</code>	500.08
glmer1	<code><- glmer(y ~ x + Tratamento + Estações + Mês/Ano + (1 salinidade) + (1 temperatura), family = Gamma, data= data)</code>	455.80
glmer2	<code><- glmer(y ~ x + Tratamento + Mês/Ano + (1 salinidade) + (1 temperatura), family = Gamma, data= data)</code>	455.83
glmer3	<code><- glmer(y ~ x + Tratamento + Estações + Mês/Ano + (1 temperatura), family = Gamma, data= data)</code>	457.7
glmer4	<code><- glmer(y ~ x + Tratamento + Estações + Mês/Ano + (1 salinidade), family = Gamma, data= data)</code>	455.7
glmer5	<code><- glmer(y ~ x + Tratamento + Mês/Ano + (1 temperatura), family = Gamma, data= data)</code>	455.7
glmer6	<code><- glmer(y ~ x + Tratamento + Mês/Ano + (1 salinidade), family = Gamma, data= data)</code>	453.8
glmer7	<code><- glmer(y ~ Tratamento + Estações + Mês/Ano + (1 salinidade) + (1 temperatura), family = Gamma, data= data)</code>	455.8
glmer8	<code><- glmer(y ~ Tratamento + Mês/Ano + (1 salinidade) , family = Gamma, data= data)</code>	455.8

Fonte: Autor

O fator estação sozinho não explicou as tendências dos dados na relação entre densidades e taxas de crescimento dos indivíduos de *A. germinans*. Assim como também pôde-se observar que não ocorreram associações explicativas de formas significativas em relação às co-variáveis salinidade e temperatura das parcelas, elas demonstraram significância em modelos mais simples, mas à medida que foram sendo adicionados outros

fatores aos modelos, seu nível de significância foi sendo perdido. Também foram feitos testes de modelos onde foram incluídas variáveis explicativas fora da coleta de campo, como por exemplo a pluviometria. No entanto, não resultaram significativamente para a relação de denso-dependência sobre taxas de crescimento em nenhum tratamento.

O modelo que melhor representou e explicou os dados de maneira significativa e com menor valor de AIC, quando comparado aos outros modelos, foi o modelo *glm7*, o qual está incluído: variável taxa de crescimento (y) em relação a variável densidade (x) somado aos fatores tratamento e mês/ano, fator que diferencia os meses de anos diferentes, pois o programa rodava como um mês só mesmo que fossem de anos diferentes, como por exemplo, temos o mês de abril para o ano de 2019 e 2022, o programa estava lendo como um único mês, no entanto eram meses de anos diferentes e estes possuem diferenças entre si, logo era necessário uma análise para cada mês de cada ano para poder analisar suas respectivas individualidades e, para isto, foi criada uma nova coluna na matriz de dados com o fator mês/ano. (Tabela 5)

Tabela 6 - GLM escolhido para explicar os dados, neste é a variável resposta Taxa de Crescimento (y) em relação a variável Densidade (x) somado aos fatores Tratamento e Mês/Ano.

```
Call:
glm(formula = taxa ~ dens + tratamento + mes_ano, family = Gamma(link = "log"),
    data = dados)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.3043  -0.3457  -0.1103   0.2041   1.5235

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      1.505432   0.149571  10.065 < 2e-16 ***
dens             -0.001760   0.006704  -0.262  0.7934
tratamentoB - Batis  0.050871   0.124552   0.408  0.6837
tratamentoC - Sesuvium -0.299542   0.158435  -1.891  0.0610 .
mes_anoAbr_22     -1.279192   0.203206  -6.295 4.93e-09 ***
mes_anoAgo_22     0.228271   0.213223   1.071  0.2865
mes_anoDez_20     -0.605655   0.268722  -2.254  0.0260 *
mes_anoJun_19     -0.068537   0.185849  -0.369  0.7129
mes_anoMar_19      0.366295   0.188260   1.946  0.0540 .
mes_anoNov_19     -1.394573   0.192518  -7.244 4.17e-11 ***
mes_anoSet_19     -0.131233   0.193880  -0.677  0.4998
mes_anoSet_21     -0.548805   0.252503  -2.173  0.0317 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.2584194)

    Null deviance: 76.145  on 134  degrees of freedom
Residual deviance: 29.885  on 123  degrees of freedom
AIC: 450.01

Number of Fisher scoring iterations: 8
```

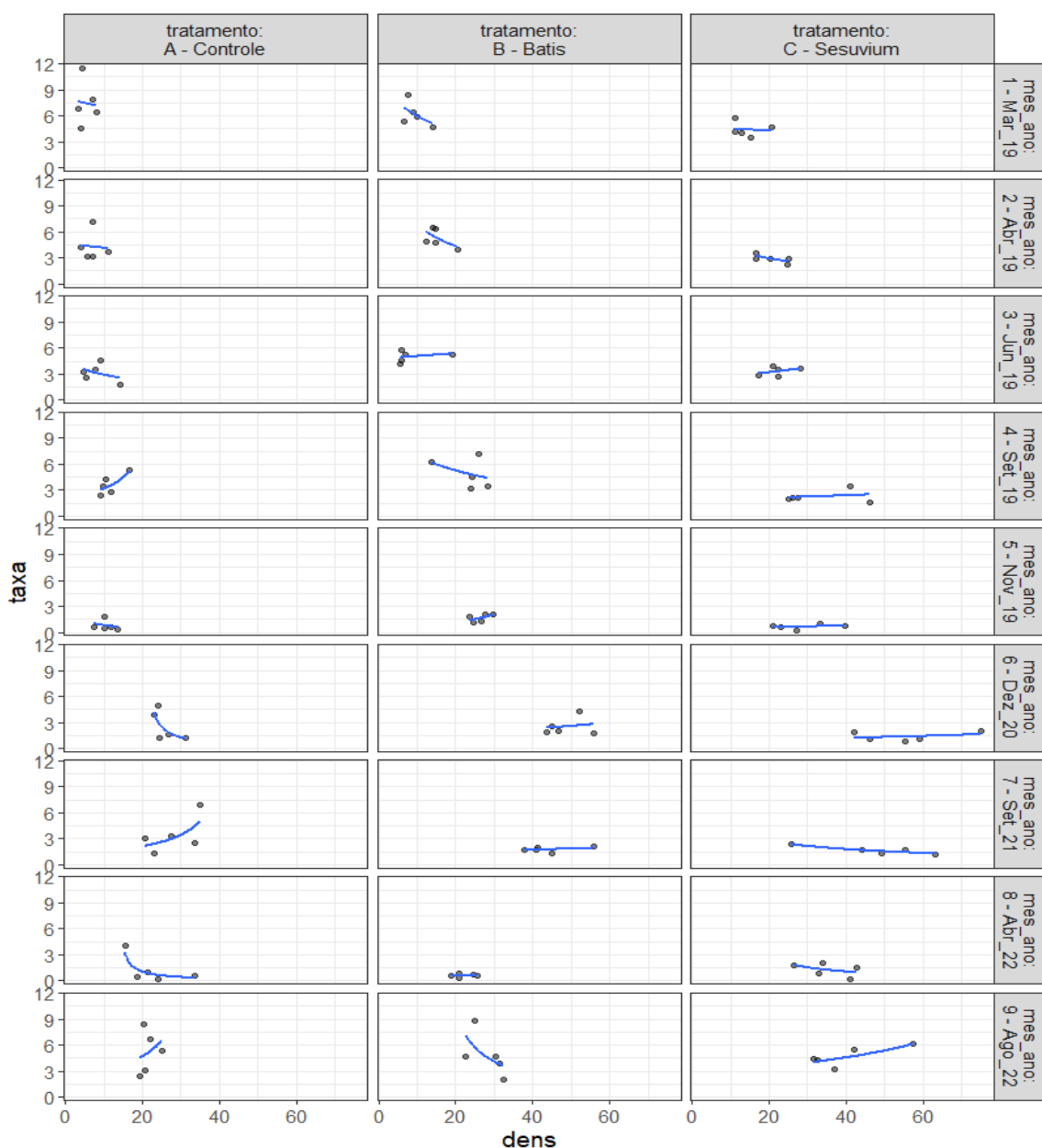
Fonte: Autor

O resultado do modelo demonstrou que a variável densidade não tem uma relação significativa com as taxas de crescimento, o que pode significar que pode não existir uma relação de denso-dependência, o que também pode significar não haver competição entre os indivíduos de *A. germinans*. Em outros modelos a densidade teve um pequeno nível de significância (variação de $p=0,05$), porém o número de AIC destes foram valores altos.

No fator tratamento as parcelas com a presença de *B. maritima* e *S. portulacastrum* não tiveram diferenças significativas de suas taxas de crescimento quando comparados ao

Controle. No entanto, o modelo demonstrou que há relação significativa ao longo dos meses a cada ano. Os mês de Nov/19 e Abr/22 tiveram os maiores graus de significância dos meses. Em Nov/19 apresentou maiores taxas de crescimento no tratamento de *B. maritima*. Já em Abr/22 foi o decréscimo abrupto das taxas de crescimento, ocasionando uma diferença considerável do mês de Abr/19 (este está sendo usado como intercepto do fator Mês/Ano), por este motivo esse mês apresentou essa diferença. Quanto aos meses que apresentaram valores de variação maiores ($p=0,05$), Dez/20 e Set/21 podemos relacionar significância a outros fatores, pois em Dez/20 as herbáceas começaram a se retirar das parcelas e em Set/21 já não existia a presença das mesmas.

Figura 11 - Representação gráfica do GLM, correlacionando as variáveis Taxa de Crescimento (y) e Densidade (x)



Fonte: Autor

Com o gráfico da Figura 11, fica possível observar como as taxas de crescimento se comportam em relação às densidades ao longo dos meses a cada ano, percebendo que dependendo do mês esta relação pode ser positiva ou negativa para o desenvolvimento dos indivíduos de *A. germinans*. Na área Controle a relação de denso-dependência só demonstrou uma tendência positiva nos meses de Set/19, Set/20 e Ago/22, somente meses dentro do período seco. Nas parcelas com a presença de *B. maritima* somente o mês de Nov/19 demonstrou ter uma relação de denso-dependência positiva, nos meses de Jun/19 e Dez/20 a linha de tendência teve uma leve inclinada para cima, já no mês de Abr/22 pareceu ter efeito nulo (linha de tendência reta). Nas parcelas com a presença de *S. portulacastrum* a relação de denso-dependência demonstrou ser positiva nos meses de Set/19 e Dez/20, com linha de tendência levemente voltada para cima, e Abr/22 o qual as taxas de crescimento aumentaram de acordo com que os valores de densidade subiram.

Os resultados mostraram que as taxas se comportaram de formas diferentes em relação à densidade de acordo com o tratamento e mês/ano. Nos tratamentos com *B. maritima* e *S. portulacastrum* valores altos de densidade não demonstraram facilitar no crescimento dos indivíduos de *A. germinans*, como também não demonstraram uma possível competição entre eles, mas devemos levar em conta nessas parcelas os números de densidade vão de intermediários (no caso de parcelas com *B. maritima*) até valores altos (no caso de parcelas com *S. portulacastrum*), o que pode ser um indicativo que deve haver um limite “ótimo” de densidade para obter uma taxa de crescimento positiva para cada tipo de tratamento/área.

4.4 Parâmetros ambientais

4.4.1. Temperatura, salinidade e pluviometria

Ao longo do estudo as médias de temperatura superficial (Figura 12), em geral, foram menores no tratamento com *B. maritima* ($32,21^{\circ}\text{C} \pm 3,04^{\circ}\text{C}$, com variação de 28°C a 37°C); em seguida a área Controle ($32,45^{\circ}\text{C} \pm 3,19^{\circ}\text{C}$, com variação de 28°C a 44°C) e por último o tratamento com *S. portulacastrum* ($32,41^{\circ}\text{C} \pm 2,89^{\circ}\text{C}$). Os tratamentos não foram significativamente diferentes em relação à área Controle. O comportamento do parâmetro temperatura durante as estações:

a) Médias durante o período chuvoso:

- i) Controle ($31,12^{\circ}\text{C} \pm 3,79^{\circ}\text{C}$);
- ii) *B. maritima* ($30,20^{\circ}\text{C} \pm 2,43^{\circ}\text{C}$);
- iii) *S. portulacastrum* ($30,87^{\circ}\text{C} \pm 2,61^{\circ}\text{C}$).

b) Médias durante o período seco:

- i) Controle ($33,32^{\circ}\text{C} \pm 2,42^{\circ}\text{C}$);
- ii) *B. maritima* ($33,62^{\circ}\text{C} \pm 2,78^{\circ}\text{C}$);
- iii) *S. portulacastrum* ($33,64^{\circ}\text{C} \pm 2,53^{\circ}\text{C}$).

Quanto às médias de salinidade superficial no decorrer da pesquisa (Figura 11) houve um padrão em relação a este parâmetro ambiental: os menores valores foram encontrados no tratamento com *B. maritima* ($28,57 \pm 26,43$, com o mín. de 0 e máx. de 85), em seguida vem a área Controle ($29,65 \pm 26,43$, com o mín. de 0 e máx. de 82) e, por último, o tratamento com a presença de *S. portulacastrum* ($31,38 \pm 26,98$, com mín. 0 e máx. de 88). Os tratamentos não foram significativamente diferentes em relação à área Controle. O comportamento do parâmetro salinidade durante as estações:

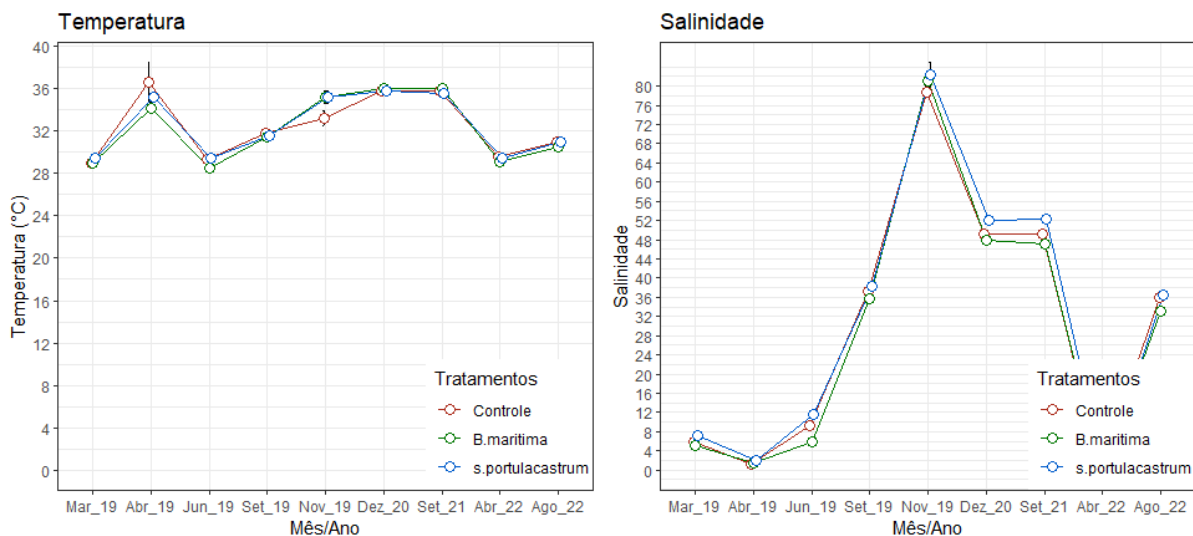
c) Médias durante o período chuvoso:

- i)** Controle ($4,10 \pm 3,89$);
- ii)** *B. maritima* ($3,15 \pm 2,54$);
- iii)** *S. portulacastrum* ($5,20 \pm 4,79$).

d) Médias durante o período seco:

- i)** Controle ($50,10 \pm 15,84$);
- ii)** *B. maritima* ($48,92 \pm 17,48$);
- iii)** *S. portulacastrum* ($52,34 \pm 16,96$).

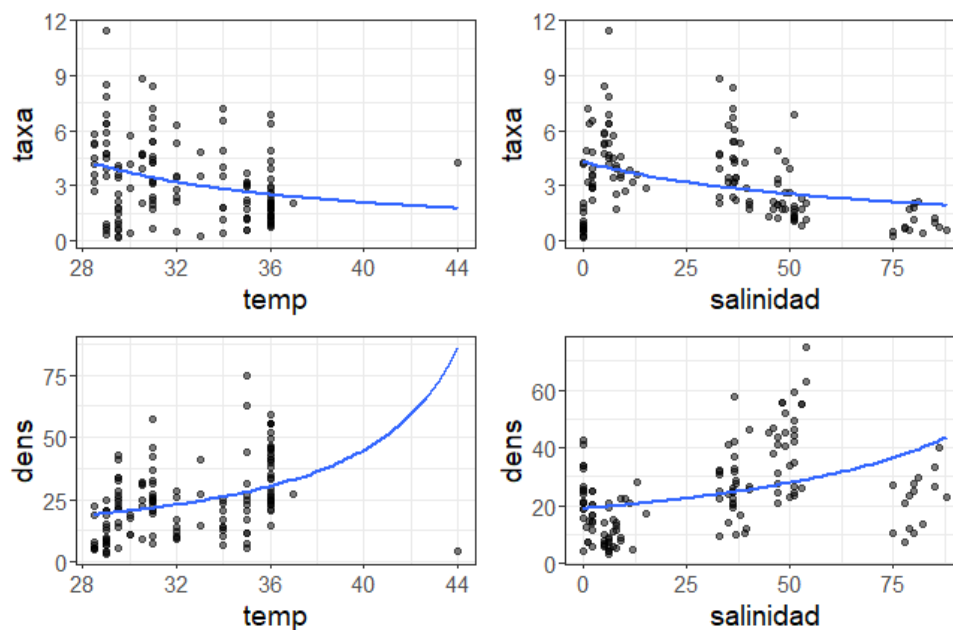
Figura 12 - Série temporal do comportamento dos parâmetros ambientais Temperatura e Salinidade no decorrer do estudo.



Fonte: Autor

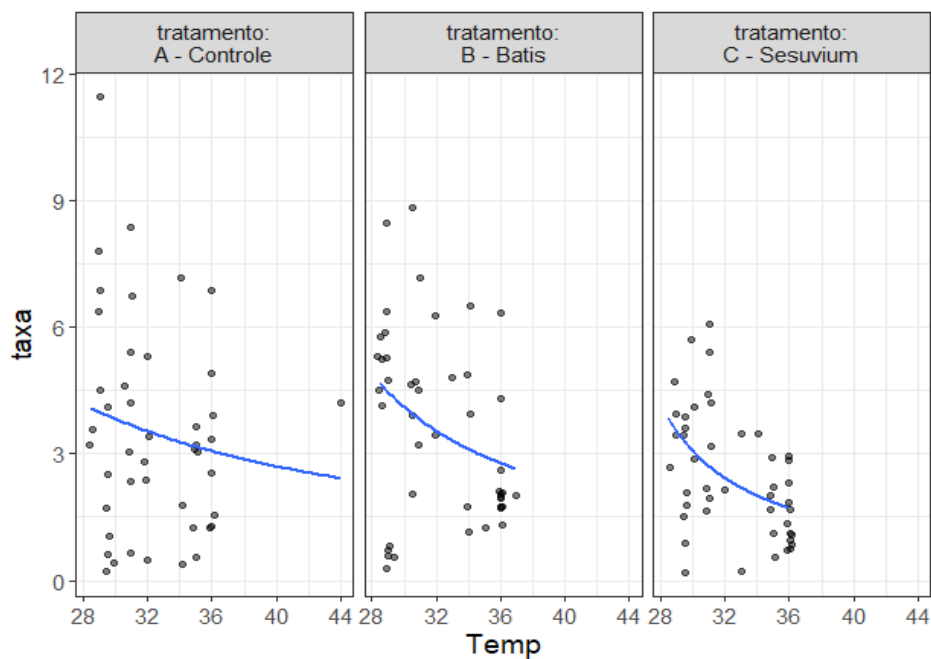
Foram realizadas correlações entre as co-variáveis e as variáveis respostas "taxa de crescimento" e "densidade". Quando foram correlacionados temperatura e salinidade com as taxas de crescimento notou-se uma tendência negativa e inversamente proporcional, isto é, de acordo com que os valores de temperatura e salinidade aumentam as taxas de crescimento caem (Figura 13).

Figura 13 - Correlações com todas as plantas de mangue: (i) Taxa de crescimento em relação a Temperatura; (ii) Taxa de crescimento em relação a Salinidade; (iii) Densidade em relação a Temperatura; (iv) Densidade em relação à Salinidade.



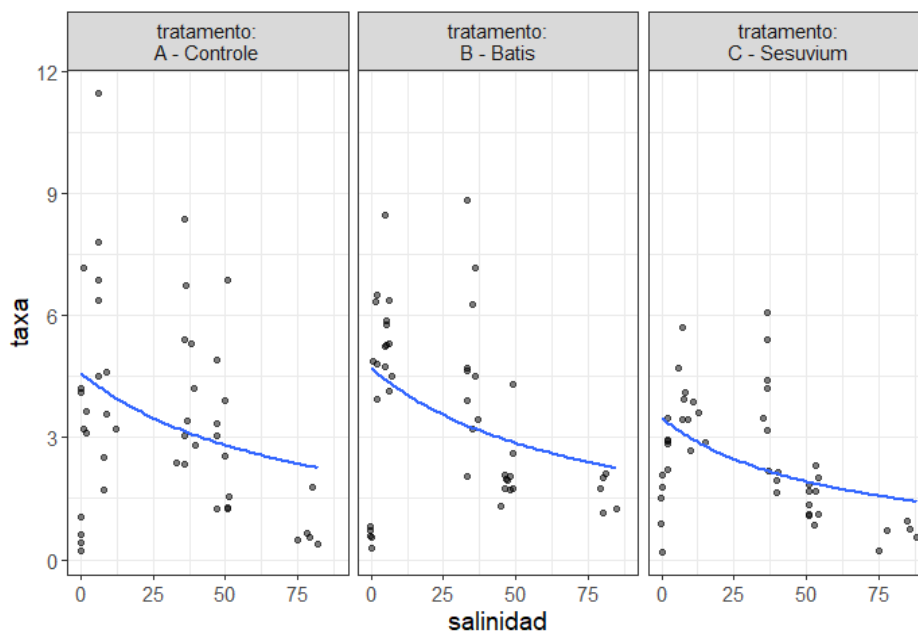
Fonte: Autor

Figura 14 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.



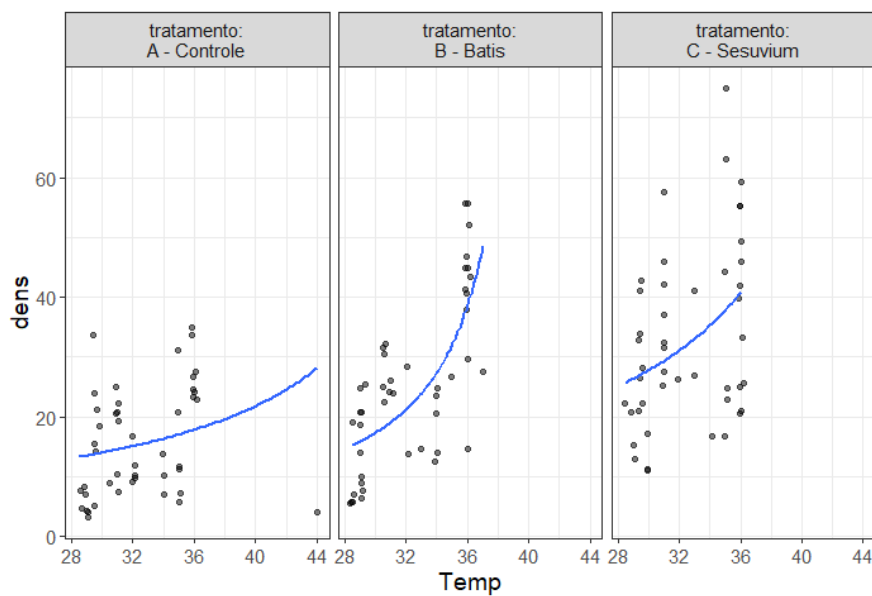
Fonte: Autor

Figura 15 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de salinidade para cada tratamento.



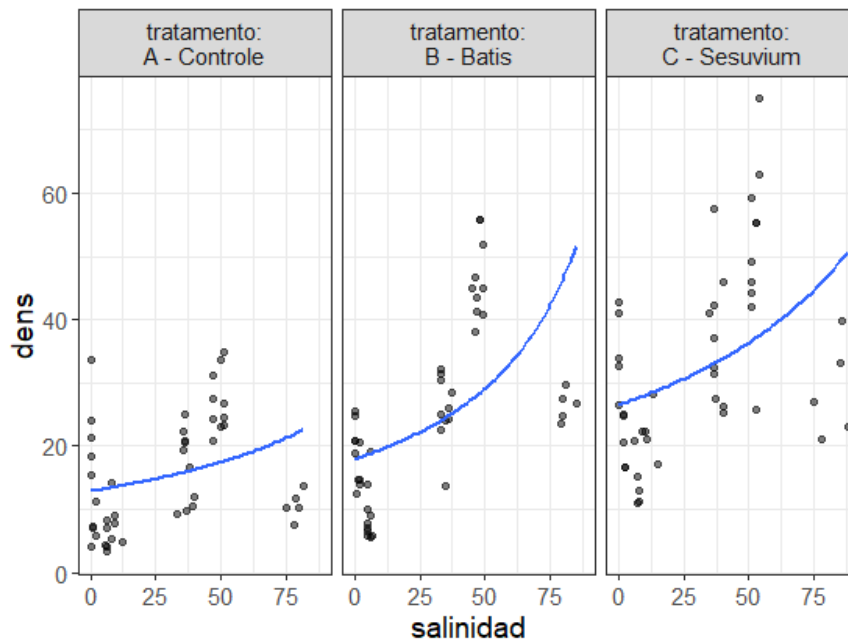
Fonte: Autor

Figura 16 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.



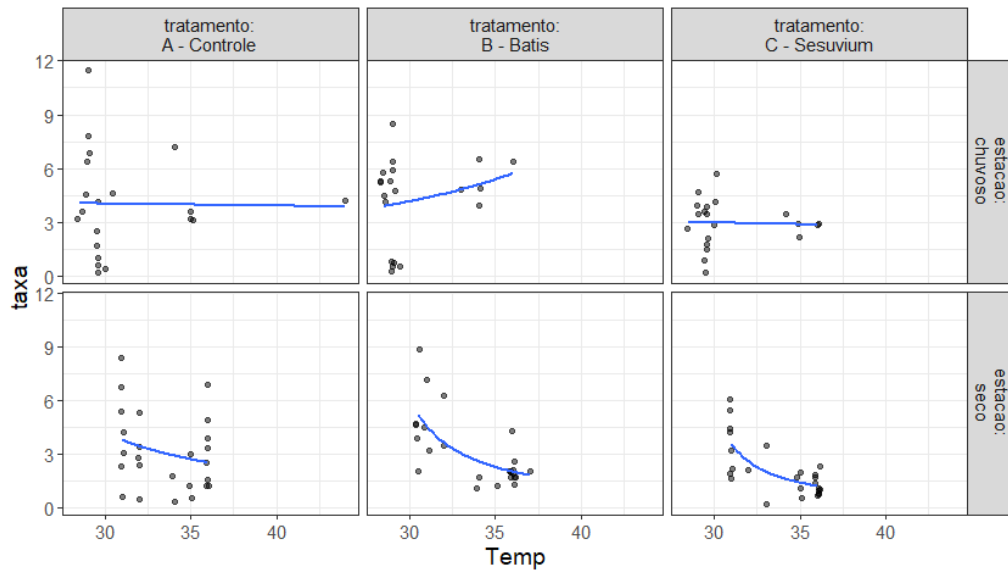
Fonte: Autor

Figura 17 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento.



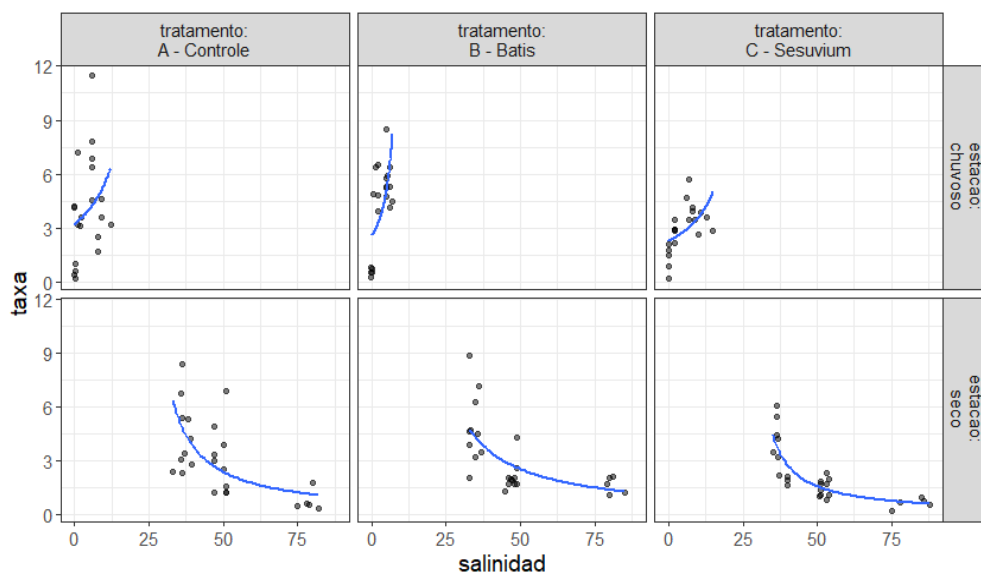
Fonte: Autor

Figura 18 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento por estação do ano.



Fonte: Autor

Figura 19 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação ao parâmetro ambiental de salinidade para cada tratamento por estação do ano.

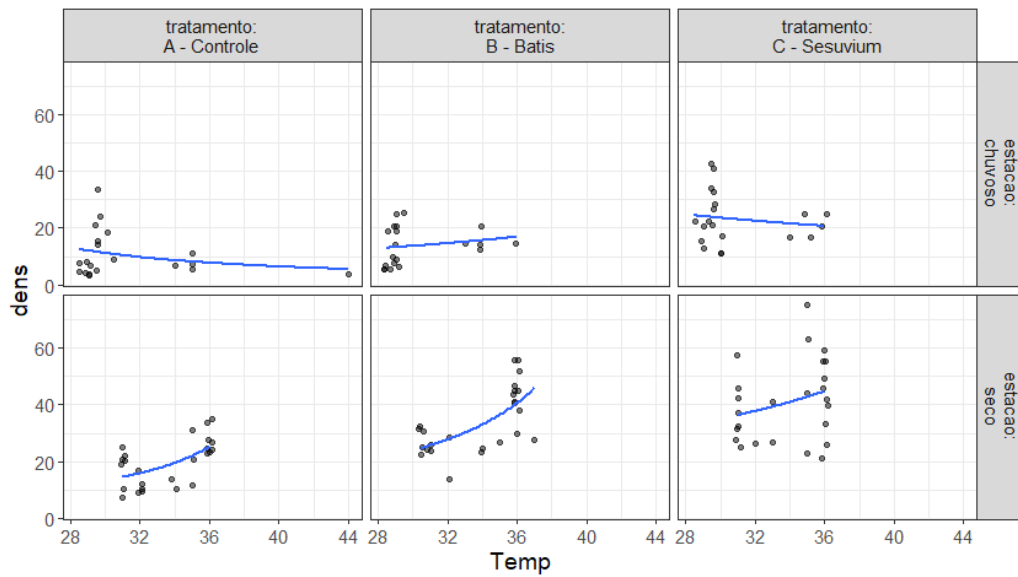


Fonte: Autor

Ao analisarmos os gráficos que correlacionam as médias das taxas de crescimento com as co-variáveis temperatura e salinidade ficou possível observar alguns comportamentos. Quando trata-se do parâmetro temperatura notou-se (Figura 18): durante o período chuvoso quanto maior forem os valores de temperatura a área Controle e *S. portulacastrum* apresentaram uma leve tendência a queda nas taxas de crescimento dos indivíduos de mangue, já no tratamento *B. maritima* acontece o contrário, há uma tendência de aumento das taxas e com isto podemos supor que neste tratamento existe um maior suporte a temperatura. No período seco o que foi observado é que quanto maior a temperatura menor será o crescimento desde a área Controle até as manchas de *B. maritima* e *S. portulacastrum*.

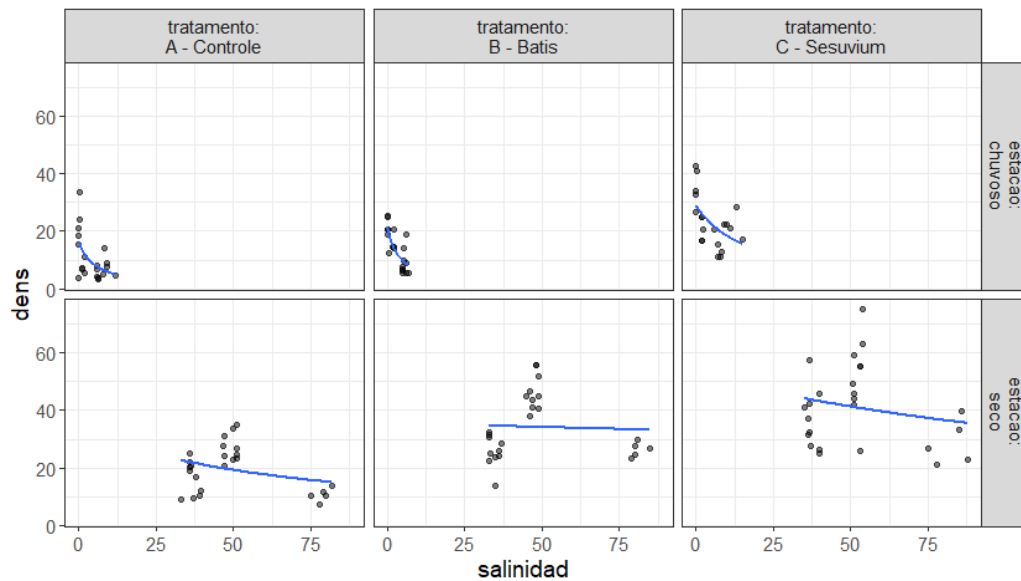
Já com relação a comportamento em relação a co-variável salinidade (Figura 19), observou-se que durante o período chuvoso as taxas de crescimento aumentam de acordo com o aumento da salinidade. Isto pode indicar que salinidades muito baixas ocasionadas por grandes volumes pluviométricos podem acabar sendo um fator estressante quando ultrapassa um limite “ótimo”. Quanto ao período seco, o crescimento tende a cair à medida que a salinidade aumenta; no entanto, o tratamento com *B. maritima* mostrou um crescimento maior durante este período e com uma tendência de queda mais suavizada, quando comparado às duas outras áreas, podendo supor uma facilitação discreta nessa estação (Figura 14). Na área Controle o que foi observado é uma tendência de declínio mais abrupta de acordo com que a salinidade aumenta quando comparada com as duas manchas de *B. maritima* e *S. portulacastrum*.

Figura 20 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de temperatura para cada tratamento por estação do ano.



Fonte: Autor

Figura 21 - Gráfico das médias de densidade em relação ao parâmetro ambiental de salinidade para cada tratamento por estação do ano.



Fonte: Autor

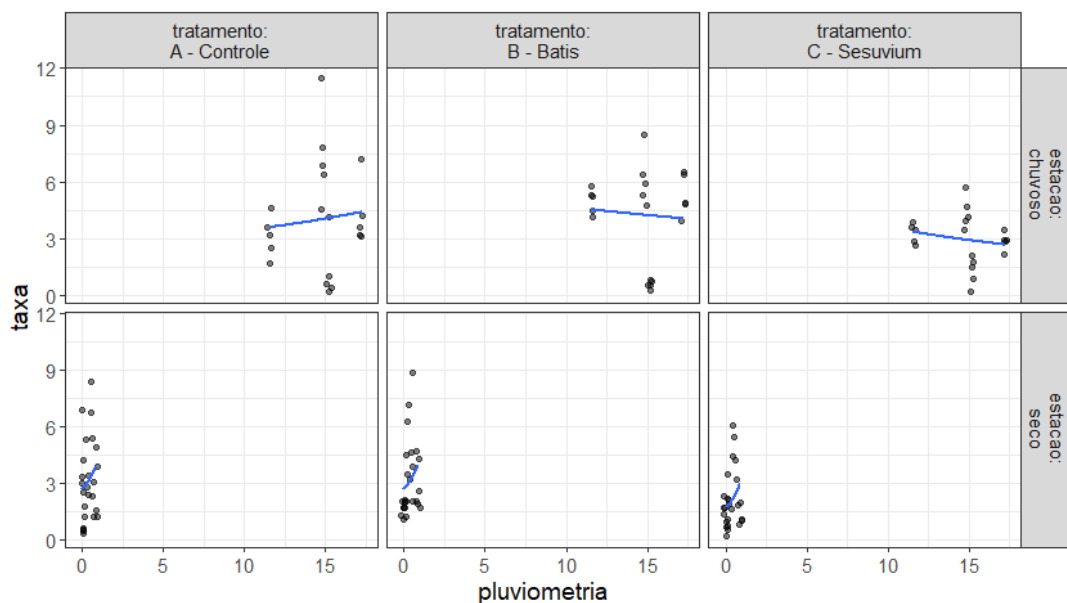
Ao correlacionarmos a variável resposta densidade com as co-variáveis temperatura pôde-se observar que no período chuvoso a área Controle e o tratamento com *S. portulacastrum* tem uma tendência discreta de queda quando há o aumento de temperatura, enquanto que no tratamento de *B. maritima* existe uma leve tendência de aumento de acordo com o aumento de temperatura. No período seco, foram observados em todos os tratamentos o aumento de densidade conforme a temperatura aumenta, entretanto, os tratamentos com *S. portulacastrum* e *B. maritima* apresentaram maiores valores de densidade e com a linha de tendência mais suave (Figura 20).

A correlação da variável densidade em relação à salinidade teve os seguintes resultados (Figura 21): no período chuvoso a medida que aumenta a salinidade ocorre o declínio das taxas de crescimento dos indivíduos de mangue em todos os tratamentos; no entanto, o tratamento com *S. portulacastrum* têm maiores valores de densidade e uma linha de tendência mais suave. No período seco, existe um padrão de declínio de densidade de acordo com o aumento da salinidade, mas os tratamentos com as facilitadoras apresentam maiores densidades e linhas de tendências mais estáveis, com destaque na mancha de *S. portulacastrum*, quando comparadas a área Controle, demonstrando que os tratamentos com as plantas pioneiras deram resposta diferentes as co-variáveis durante as estações.

Foram feitas correlações para os anos de estudo, mas, por conta da pandemia de COVID - 19, foram realizadas coletas anuais apenas nos períodos secos em 2020 e 2021, não demonstrando ter variações significativas quanto aos anos, por isso, neste caso, ficou mais viável a análise temporal por estações.

O comportamento do crescimento das plantas também foi analisado para cada estação (Figura 22). Este tende a diminuir quando as médias pluviométricas ultrapassam os valores de aproximadamente 13 mm, observação válida para os tratamentos de *B. maritima* e *S. portulacastrum*. A área Controle mostrou o comportamento inverso, médias pluviométricas acima de 10 mm a taxa de crescimento tende a crescer (Figura 22). O podemos supor com este resultado é que se as taxas pluviométricas em excesso estiverem atuando como fator estressor para o crescimento, as herbáceas não conseguem exercer a facilitação. Já durante o período seco notou-se o comportamento padrão em todas as parcelas, quanto maior a pluviometria neste período maior será o crescimento do mangue.

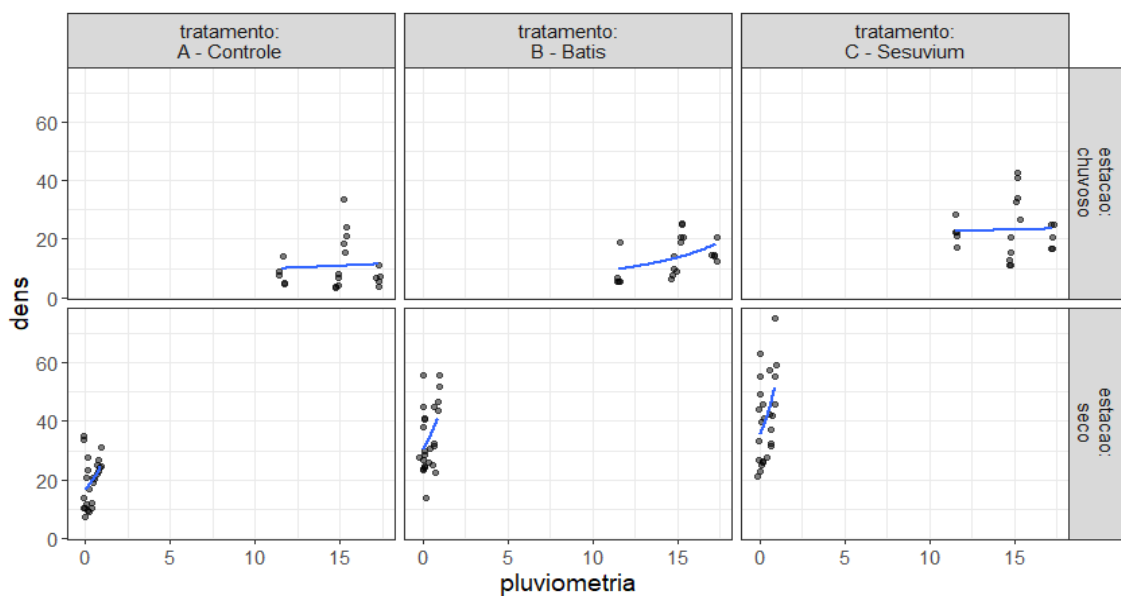
Figura 22 - Gráfico das médias de taxa de crescimento em relação às médias pluviométricas para cada tratamento por estação do ano.



Fonte: Autor

Quanto ao recrutamento, o comportamento da variável densidade analisado para cada estação foi que durante a estação chuvosa os tratamentos com *B. maritima* e *S. portulacastrum* demonstraram uma linha de tendência positiva em relação ao aumento dos valores de pluviometria. A área Controle demonstrou um comportamento parecido, mas com menores valores de densidade e com uma linha de tendência bem mais discreta quando comparada com os tratamentos de *B. maritima* e *S. portulacastrum*. Este resultado pode indicar que as herbáceas podem facilitar mitigando a chuva como fator estressor. Sobre o período seco observou-se que as densidades possuem uma tendência positiva em pequenos volumes pluviométricos para todas as três parcelas.

Figura 23 - Gráfico das médias de densidade em relação às médias pluviométricas para cada tratamento por estação do ano.

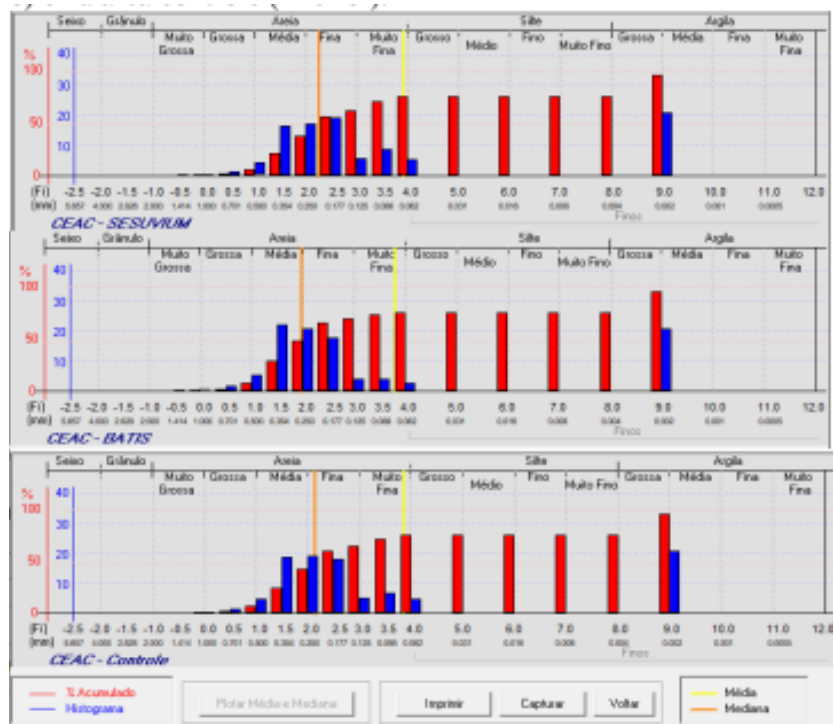


Fonte: Autor

4.4.2. Análises sedimentológicas

As análises granulométricas classificaram o sedimento da área de estudo como “muito fino” de acordo com a classificação de Folk e Ward, nos três tratamentos amostrados durante todo o período de estudo do ano de 2019. Sendo pobremente selecionados e com uma assimetria positiva na curva de distribuição, isto é, tendem a grãos mais finos (Figura 23).

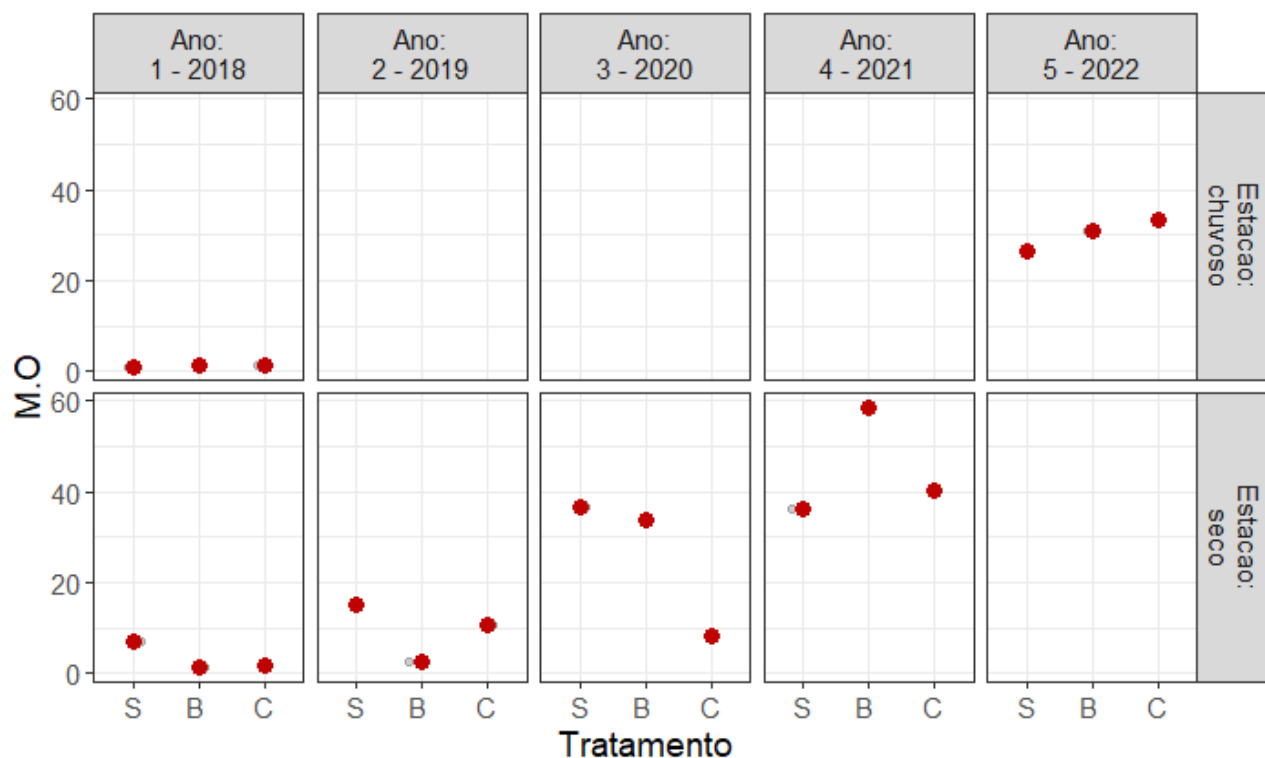
Figura 24 - Análise granulométrica dos sedimentos: no tratamento com presença de *S. portulacastrum* (superior), com presença de *B. maritima* (meio) e na área Controle (inferior).



Fonte: Elaborado por Carolina Bracho, 2019.

As maiores médias quanto ao conteúdo de Matéria Orgânica (M.O), em geral, foram obtidas no tratamento de *B. maritima* ($21,44 \pm 23,61\%$), seguido do tratamento com *S. portulacastrum* ($20,40 \pm 15,05\%$) e, com as menores médias, área Controle $15,83 \pm 16,70\%$. Durante as estações chuvosas de 2018 e 2019 apresentaram diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$). Na estação seca de 2018, observou-se um aumento marcante da porcentagem de matéria orgânica no tratamento com presença de *S. portulacastrum*, seguido do Controle e *B. maritima*. Já na estação seca de 2019 mostrou o mesmo padrão da estação seca de 2018, porém com valores maiores do que os amostrados em 2018. Nos anos de 2020 e 2021, estação seca, mantiveram o padrão de aumentar suas porcentagem em relação ao ano anterior. No entanto, em 2022, período chuvoso, houve uma queda na porcentagem em relação ao período seco de 2021, fator que pode estar associado às chuvas, como já citado anteriormente, podendo ter ocasionado alguma erosão nos solos. Os maiores valores de M.O, de uma forma geral, pertenciam ao período seco, o que pode ser um reflexo das altas densidades de *A. germinans* para este período nos três tratamentos, em especial no tratamento com *S. portulacastrum* (Figura 24).

Figura 25 - Gráfico com os valores de Matéria Orgânica (M.O) para cada tratamento (S: parcelas com *S. portulacastrum*; B: parcelas com *B. maritima* e C: área Controle).



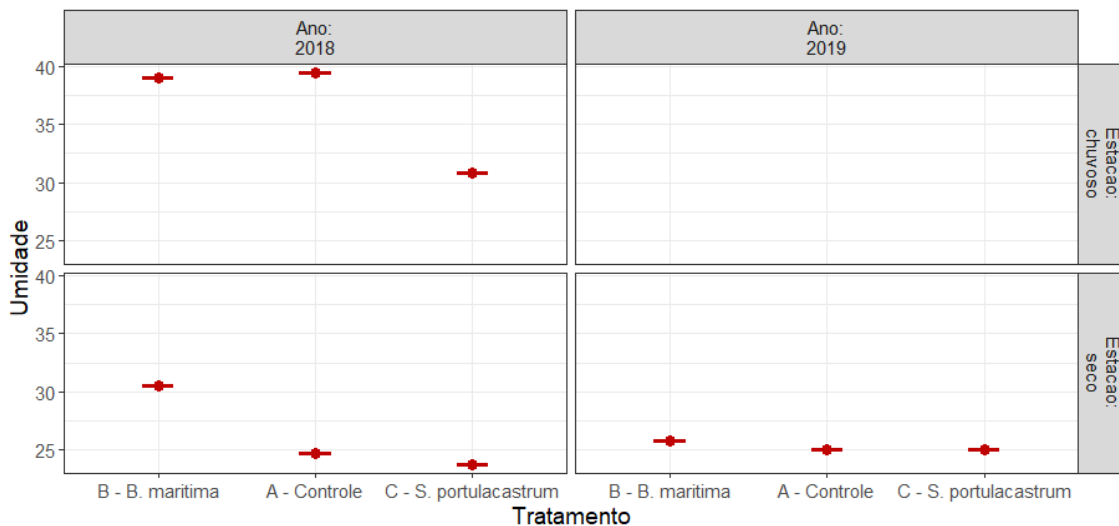
Fonte: Autor

As maiores médias de Umidade do solo (%) foram observadas no tratamento com *B. maritima* ($31,77 \pm 6,71\%$), seguido de Controle ($29,72 \pm 8,4\%$) e, por último, tratamento com *S. portulacastrum* ($26,53 \pm 3,78\%$). Os valores de umidade do solo demonstraram ser diferentes entre estações dos anos e nos três tratamentos. Quanto ao fator estação, a maior umidade foi registrada durante a estação chuvosa. Em relação ao fator tratamento, as variações mostraram que as parcelas com *B. maritima* e a área Controle apresentaram maiores valores quando comparados ao tratamento com *S. portulacastrum* (Figura 25).

O tratamento com *B. maritima* apresentou maiores porcentagens de umidade do solo durante o período seco. Isto pode ser um indicativo que esta herbácea, supostamente, consegue realizar um melhoramento do solo quanto a este parâmetro ambiental.

Esta análise diz respeito aos dados de umidade do solo dos anos de 2018 e 2019. Os anos seguintes foram realizadas coletas e análises, porém houve problema com os resultados e foi decidido não apresentar estes dados no trabalho.

Figura 26 - Gráfico dos valores de Umidade do Solo em relação para cada tratamento no decorrer dos anos de 2018 e 2019.



Fonte: Autor

5. Discussão

A restauração ou recuperação pode ser recomendada quando um ecossistema foi alterado de tal forma que já não pode autocorrigir-se ou auto-renovar-se. Nessas condições, os processos de sucessão secundária ou de recuperação natural são inibidos de alguma forma. Geralmente, isso ocorre quando há restrições hidrológicas e/ou uma remoção muito grande da vegetação (Bosire, 2008). Manchas com a presença de plantas pioneiras podem facilitar e auxiliar neste processo de reabilitação de ecossistema manguezal, segundo Mckee *et al.* (2007).

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a partir da recuperação da conexão hidrológica foi possível que ocorresse uma sucessão ecológica no local, alterando as condições físico-químicas do solo, favorecendo uma recuperação natural do mangue. Num primeiro momento de recuperação biológica, notou-se a colonização de duas espécies pioneiras de halófitas, *B. maritima* e *S. portulacastrum*, seguida do restabelecimento natural e crescimento de plântulas de mangue. Ao longo deste estudo foi possível perceber, de maneiras diferentes, efeitos de facilitação relacionados às herbáceas sobre este processo de recuperação do mangue preto.

A partir dos resultados obtidos ao longo da pesquisa, houve a comprovação da facilitação dentro das manchas com a presença das herbáceas *B. maritima* e *S. portulacastrum*, nelas foram observados os maiores valores médios de densidades quando comparados a área Controle, e o tratamento com *S. portulacastrum* teve destaque em todas as amostragens realizadas durante o estudo, sempre apresentando valores altos de densidade. Segundo Peterson (2012), isto acontece devido à estrutura das herbáceas que oferecem uma complexidade física para o recrutamento dos propágulos de *A. germinans*.

Apesar dessas herbáceas possuírem aspectos morfológicos semelhantes como caules macios e maleáveis, folhas carnosas e estruturas que oferecem complexidade física, suas particularidades biológicas e fisiológicas permitem e oferecem serviços ecológicos diversos como a melhoria do microclima local através do auto-sombreamento e da oxigenação da rizosfera, modificações da composição físico-química do solo e a promoção da elevação da superfície do solo, o que permite amenizar o efeito de inundações e submeter os indivíduos de *A. germinans* à condições de menor estresse com relação ao caráter redutor do solo do manguezal (Huxham, 2019; Milbrandt *et al.*, 2006; Pezeshki *et al.*, 1997).

Este estudo mostrou que as manchas com herbáceas proporcionaram um melhoramento do solo. As parcelas com *B. maritima* demonstraram atenuar o estresse de hipersalinidade do solo provocado pela salina que ali foi estabelecida, uma vez que seus substratos apresentaram menores valores de salinidade superficial e maiores valores de umidade do solo (indicativo de redução da quantidade de sais presente no sedimento); mesmo comportamento foi observado em outros projetos (Milbrant, 2006; Teutli-Hernández *et al.*, 2017). Estas espécies halófitas, segundo Teutli-Hernández *et al.* (2017), são caracterizadas pela acumulação de sal sequestrado em vacúolos celulares como mecanismo de osmorregulação, modificando a química do solo. O estresse salino provoca uma redução fotoquímica, redução da condução estomática e da condução no mesófilo limitando a fotossíntese por baixa difusão de CO₂ (Pascoalini *et al.*, 2014). A partir disto podemos levar em consideração também os custos energéticos para excretar os sais, ação necessária para ter um melhor aproveitamento da água, desencadeando taxas reduzidas de assimilação de carbono (Ball, 1998), isto é, quanto maior o teor de salinidade no local, menor será a produtividade (Pascoalini *et al.*, 2014). Com isto pode-se relacionar os maiores valores médios de taxa de crescimento terem sido observados no tratamento *B. maritima*, já que os valores de salinidade foram menores e também associando a capacidade dessas herbáceas em realizar a captura de sais presentes no ambiente (Milbrant, 2006; Teutli-Hernández *et al.*, 2017).

Já as parcelas com *S. portulacastrum* não demonstraram facilitar quanto ao crescimento durante o período em que as herbáceas estavam causando efeito sobre a espécie de mangue, em 2019 e 2020. Estudo de Messeddi *et al.* (2001) apresentou em seus resultados que a planta pioneira *S. portulacastrum* quando submetidas a concentrações de NaCl muito altas (maiores que 800 mM) sofria uma queda no seu desenvolvimento, o que poderia estar relacionados a inibição da absorção dos nutrientes. No entanto, foi possível observar em Dez/20, Set/21 e Ago/22 períodos nos quais os valores de salinidade estavam mais estáveis o aumento das taxas de crescimento em *S. portulacastrum* e na área Controle.

Mudanças na frequência e intensidade da precipitação geram um efeito nos manguezais, mesmo que de curto prazo, em comparação com outros eventos extremos, e pode ser reconhecido como um fator estressor para este ecossistema quando ultrapassa limites críticos. Quando a longo prazo, mudanças nos padrões de precipitação influenciam a distribuição de manguezais, a diversidade de espécies, estrutura, crescimento e a produtividade em função da tolerância fisiológica. Em volumes intensos e frequentes com uma má distribuição pode acarretar implicações negativas para os manguezais devido à inundação persistente e ao influxo de sedimentos de diferentes tipos (Asbridge *et al.*, 2015).

Por exemplo, a sedimentação significativa após chuvas intensas e inundações na Samoa Americana cobriu áreas das raízes de Joelho da espécie *Bruguiera* spp. e a redução do desenvolvimento (crescimento) estava associada a impossibilitação na troca gasosa, levando à mortalidade em massa em povoamentos de 16 m de altura. Também observaram que ocorreu o enterro completo dos pneumatóforos de *Avicennia* spp. e das raízes de *Bruguiera* spp. causando a mortalidade dessas espécies. Outra problemática apresentada pelo aumento das chuvas a ser citada é a erosão do solo dentro da floresta de mangue, o que pode resultar na redução da produtividade da mesma (Asbridge *et al.*, 2015). Em Abr/22 foi mostrado nos resultados deste estudo que houve uma queda significativa das taxas de crescimento e das densidades em todos os tratamentos, fato este foi associado às chuvas intensas que ocorreram de forma consecutiva durante todos os dias do mês de março e começo de abril. No entanto, também foi notado que no tratamento de *S. portulacastrum* as médias para o crescimento e densidade foram maiores quando comparadas ao Controle e com o tratamento de *B. maritima*. De acordo com Huxham (2019) as altas densidades das plântulas aumentam a acreção sedimentar e a sobrevivência desses indivíduos, podendo relacionar a facilitação na armadilhagem reforçada de sedimentos ricos em nutrientes através da estrutura oferecida pela planta facilitadora, e este comportamento com altas densidades foi observado no tratamento com *S. portulacastrum* durante todo o estudo, e mesmo que Abr/22 não tinha mais a presença da herbácea, seu tratamento permaneceu com o mesmo padrão e isto supõe que manchas com esta halófito presente facilitam quando expostas ao estresse pluviométrico intenso, facilitando tanto para seu desenvolvimento quanto para retenção de propágulos. Em outros trabalhos *S. portulacastrum* foi indicada como uma herbácea adequada para mitigar áreas perturbadas por eventos climáticos como tempestades, furacões e entre outras perturbações, sendo mencionada durante o estudo de Lacerda (2002). Informação válida para mitigar impactos promovidos pelas mudanças climáticas e seus fenômenos climáticos mais intensos.

Enquanto aos valores de temperatura, as médias nas parcelas com as plantas pioneiras *B. maritima* (com a menor média) e *S. portulacastrum* apresentaram valores menores quando comparadas a área Controle. Mesmo que as diferenças entre os tratamentos não tenham sido significativas, as temperaturas ficaram mais estáveis, sendo um ponto positivo tendo em vista que grandes variações requerem um grande gasto energético para as plantas para manterem o seu metabolismo estável (Teutli-Hernández, 2017). Esta mitigação pode ser explicada pela complexidade da estrutura física oferecida pelas herbáceas que pode proteger a superfície do solo contra a insolação direta e, conseqüentemente, manter a temperatura do solo mais baixa do que a de superfícies sem cobertura (Milbrandt *et al.*, 2006) e isto pode ser crucial para o microclima inicial da colonização dos primeiros indivíduos de *A. germinans*.

Em geral, a denso-dependência positiva como efeito de facilitação sobre o crescimento de *A. germinans* só foi percebida em alguns meses do período seco (Set/19, Nov/19 e Set/21), supostamente por ter níveis de estresse ambiental maiores (Bracho, 2020). No entanto, não foi válido para todos os tratamentos, variando entre tratamentos e mês/ano. O tratamento com *B. maritima* foi o que mais demonstrou uma relação de denso-dependência negativa, em segundo lugar vem o tratamento de *S. portulacastrum*, e podemos relacionar isto ao fato de que neste tratamento (*B. maritima*) as plantas apresentaram um maior

desenvolvimento e plantas maiores acabam competindo pelo espaço com as suas vizinhas devido ao seu tamanho crescente, enquanto as mudas ainda dependem dos efeitos facilitadores das suas vizinhas (Vogt, 2014).

Em relação ao teor de Matéria Orgânica (M.O), só houve diferenças significativas entre os tratamentos do ano de 2018 para 2019. Ao decorrer do estudo mesmo que sem diferenças significativas entre os três tratamentos, houve um aumento gradativo do teor M.O, porém teve também um aumento de densidade, o que pode promover uma competição por nutriente entre as plantas mais desenvolvidas com as plantas vizinhas, como citado anteriormente, isto pode explicar a queda na taxa de crescimento no tratamento de *B. maritima* nos anos sem a presença das herbáceas (2021 e 2022), já que apresentou plantas com maiores portes e com densidades relativamente altas durante esse período. A áreas Controle e *S. portulacastrum* tiveram uma boa disponibilidade de matéria orgânica, mas os indivíduos de mangue durante estes anos ainda não tinham apresentado portes tão desenvolvido quanto o de *B. maritima*, logo a condição com disponibilidade de nutrientes e um provável nível menor de competição nessas parcelas proporcionaram médias de taxas crescimento mais destacadas.

A sucessão ecológica refere-se a uma sequência de mudanças estruturais e funcionais que ocorrem em comunidades ao longo do tempo. O desenvolvimento do ecossistema consiste em transformações na estrutura de espécies e processos da comunidade ao decorrer do tempo, resultando na modificação do ambiente físico por meio das interações ecológicas, como por exemplo a facilitação e a competição, e coexistência em nível de população (Odum, 1988). A base conceitual para a sucessão define os conceitos de sucessão primária, secundária, estágio seral e clímax. A característica básica de uma sequência sucessória obrigatória, independentemente do mecanismo, é que a espécie A (o colonizador) é substituída pela espécie B, que posteriormente é substituída por uma espécie C, e assim por diante, até que o estado de clímax seja atingido, que acontece quando não há substituição por outras espécies, no caso do mangue, a própria espécie pode ser o clímax em seus ecossistemas (Johnstone, 1983). Para realizar descrição da estrutura florestal pode-se incluir medidas como: composição de espécies, diversidade, altura do tronco, diâmetro do tronco, área basal, densidade de árvores, distribuição por classe etária e padrões de distribuição espacial das espécies que compõem a floresta (Smith, 1992). O acúmulo de biomassa e alterações de parâmetros ambientais podem evidenciar a mudança para a próxima fase sucessiva. Ao longo dos anos da pesquisa foi observado um aumento na matéria orgânica do solo, parâmetros ambientais mais estáveis (salinidade e temperatura), maiores valores na altura do tronco e maior diâmetro do mesmo e mudanças quanto à sua diversidade. Nas últimas coletas, abril e agosto de 2022, ficou mais perceptível, a nível de observação, a sucessão ecológica e, mudanças que foram citadas acima, presentes no ambiente de estudo. Notou-se um começo discreto de colonização faunística na área em recuperação, como a presença de moluscos (*Littoraria angulifera*), foram encontrados também animais que costumam habitar florestas mais densas e ambientes menos salinos, como um sapo (*Leptodactylus macrosternum*) e uma cobra cipó (*Oxybelis aeneus*). Quanto à diversidade da flora, foi observado que as herbáceas começaram a desaparecer da área em Dez/20 e, em

Set/21, já não existia mais a presença das mesmas, outra mudança percebida foi o desaparecimento da espécie de mangue branco *Laguncularia racemosa*, que era encontrada em média 3 ou 4 indivíduos em cada quadrante nas coletas durante o começo do estudo. Essa saída pode ser explicada pela falta de tolerância à sombra, tanto para as espécies pioneiras *B. maritima* e *S. portulacastrum* como para a espécie branco do gênero *Laguncularia* spp., já que a *L. racemosa* também pode atuar como colonizadora por suportar ambientes mais extremos e não ser tolerante a sombra (Johnstone, 1983). A partir disso, pode-se dizer que a área de estudo demorou por volta de 5 anos para passar das fases primárias para iniciar o estágio seral, informação que pode ser útil para projetos de manejo em áreas de mangue em recuperação.

6. Conclusão

Em virtude dos resultados apresentados neste trabalho é possível confirmar o papel das duas herbáceas atuando como facilitadoras no recrutamento e estabelecimento da espécie de mangue *A. germinans* através da retenção de propágulos. Quanto ao crescimento, *B. maritima* pareceu facilitar somente na fase inicial da colonização, quando os indivíduos estão em menor porte e com densidades intermediárias, enquanto *S. portulacastrum* não demonstrou facilitar o desenvolvimento dos indivíduos de mangue preto, o que pode estar associado a maiores valores de salinidade e altas densidades que poderia gerar competição durante a fase inicial da colonização.

Outros supostos mecanismos de facilitação oferecidos pelas plantas pioneiras são amenização da temperatura (melhorando o microclima do ambiente), o aumento de matéria orgânica do solo, que pode ter sido promovido pelo motivo de que as parcelas com a presença das herbáceas eram mais densas, logo depositam mais material no solo e, no caso do tratamento de *B. maritima*, a redução de sais presentes no solo, já que neste tratamento apresentaram solos mais úmidos e também menor salinidade superficial quando comparada aos outros tratamentos.

Não houve evidências em relação ao efeito de denso-dependência positiva no presente estudo, os dados apresentaram uma discreta tendência positiva durante alguns meses do período seco, no entanto não foi o suficiente para comprovar este efeito.

Com a atual pesquisa é possível reconhecer a importância dessas herbáceas para mitigar impactos promovidos pelas mudanças climáticas, como ciclones e chuvas intensas. Estas podem deixar o ambiente mais reforçado para receber estes eventos, já que tem a capacidade de reter e acrescentar sedimentos através da sua complexidade física e maiores densidades, como foi o caso observado no tratamento de *S. portulacastrum*, mitigando a perda do solo para estes fenômenos.

Mesmo com os supostos efeitos facilitadores sobre o ambiente e sobre os indivíduos é possível perceber que a sucessão ecológica e a recuperação do ambiente é um processo demorado e complexo, por isto, se faz necessário o acompanhamento da área por anos, principalmente pela dinamicidade que o ecossistema de manguezal possui, especialmente na região nordeste a qual apresenta variações climáticas extremas. O estudo também demonstrou

que os tratamentos com as plantas pioneiras deram respostas diferentes a estímulos ambientais diversos.

Sabendo que o manguezal é importante ecologicamente por funcionarem como berçários para outras espécies, por atuarem na captura do carbono atmosférico, o que permite atenuar os efeitos das mudanças climáticas, eles também são fonte renda e subsistência de povos e comunidades tradicionais que dependem direta e indiretamente da saúde desses ecossistemas. Logo a preservação desses ambientes é de suma importância e o conhecimento sobre tais interações é necessário para a compreensão de como funciona a dinâmica dos mesmos e quais os melhores procedimentos deverão ser realizados em projetos de recuperação e como podemos mitigar efeitos negativos, sejam naturais ou antropogênicos, sobre este ambiente.

7. Referências bibliográficas

Asbridge, E., Lucas, R., Accad, A. et al. Mangrove Response to Environmental Changes Predicted Under Varying Climates: Case Studies from Australia. *Curr Forestry Rep* 1, 178–194 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40725-015-0018-4>

Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti - Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/area-de-protecao-ambiental-do-rio-pacoti/>. Acesso em: 17 jan. 2022.

ATLAS DOS MANGUEZAIS DO BRASIL, 2018. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf. Acesso em: 14 jan. 2022.

BOSIRE, J.O.; DAHDOUH-GUEBAS, F.; WALTON, M.; CRONA, B.I.; LEWIS III, R.R.; FIELD, C.; KAIRO, J.G.; KOEDAM, K. Functionality of restored mangroves: A review. *Aquatic Botany*, mar. 2008.

DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; NERINO, G.; RODRIGUES, J.; SADECK, L.; ADAMI, M.; SOUZA-FILHO, P.W.M. Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis. *Remote Sens.* 2019, 11, 808. <https://doi.org/10.3390/rs11070808>

FAO. *The World's mangroves: 1980-2005*. FAO, Roma, Italia, 2007. 77 p.

FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, v. 125, p. 38–46, jun. 2016.

FIELD, C. Mangrove rehabilitation: choice and necessity. *Hydrobiologia*, v. 413, p. 47-52, 1999.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 2018. Disponível em: [HTTP://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/totalchuvas/index.htm](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/totalchuvas/index.htm) . Acesso em: 13 jan. de 2022.

GEDAN, K.; SILLIMAN, B. Using facilitation theory to enhance mangrove restoration. *Ambio*, v. 38, n. 2, mar. 2009.

GIRI, C. et al. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 1, p. 154–159, 17 ago. 2010.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO (SEPLAG) Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) PERFIL BÁSICO MUNICIPAL AQUIRAZ. 2009. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Aquiraz_2009.pdf>.

Acesso em: 17 jan. 2022.

GORAYEB, A.; SILVA, E.; MEIRELES, A. Impactos ambientais e propostas de manejo sustentável para a planície flúvio-marinha do Rio Pacoti - Fortaleza/Ceará. *Sociedade & Natureza*, v. 17, n. 33, p. 143-152, 2005.

HUXHAM, M.; BERGER, U.; SKOV, M.; SOUSA, W. Kropotkin's Garden Facilitation in Mangrove Ecosystems. In: Hawkins, S; Bohn, K.; First, L.; Williams, G. (Eds.). *Interactions in the Marine Benthos. Global Patterns and Processes*. Cambridge University Press. United Kingdom. 2019.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio lança Atlas dos Manguezais do Brasil. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/9581-icmbio-lanca-atlas-dos-manguezais-do-brasil#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20segundo%20ecossistema%20em%20todo%20o%20Brasil.>>. Acesso em: 13 jan. 2022.

JOHNSTONE, I.M. (1983). Succession in zoned mangrove communities: where is the climax?. In: Teas, H.J. (eds) *Biology and ecology of mangroves. Tasks for vegetation science*, vol 8. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0914-9_15

KUMARA, M.; JAYATISSA, L.; KRAUSS, K.; PHILLIPS, D.; HUXHAM, M. High mangrove density enhances surface accretion, surface elevation change, and tree survival in coastal areas susceptible to sea-level rise. *Oecologia*, 2010.

MCKEE, K.; ROOTH, J.; FELLER, I. Mangrove recruitment after forest disturbance is facilitated by herbaceous species in the Caribbean. *Ecological Applications*, v. 17, n. 6, set. 2007.

MENEZES, M.O.T. Análise do crescimento das florestas de mangue da planície flúvio-marinha do Rio Pacoti, Ceará, entre os anos de 1958 e 2004. jul. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/240634320_Analise_do_crescimento_da_floresta>

[de_mangue_da_planicie_fluvio-marinha_do_Rio_Pacoti_Ceara_entre_os_anos_de_1958_e_2004](#)>. Acesso em: 17 jan.. 2022.

ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1988.

PARMIGIANI, R. Facilitação e competição no sucesso de estabelecimento de plântulas de *Dalbergia ecastaphyllum*. Ecologia da Mata Atlântica, 2016.

PETERSON, J.; BELL, S. Tidal events and salt-marsh structure influence black mangrove (*Avicennia germinans*) recruitment across an ecotone. Ecology, v. 93, n. 7, 2012.

RUIZ-JAEN, M. C.; MITCHELL AIDE, T. Restoration Success: How Is It Being Measured? Restoration Ecology, v. 13, n. 3, p. 569–577, set. 2005.

SMITH, A.P. ; LINDENMAYER, D.B. Forest succession and habitat management for Leadbeater's possum in the State of Victoria, Australia. Forest Ecology and Management, v. 49, n. 3-4, p. 311–332, 1992. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037811279290143W#preview-section-abstract>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

SOUSA, J.P. Indicadores Ambientais Aplicados à APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/28009/3/2017_dis_jpsousa.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2022.

SOUZA, C.A. et al. Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323245322_Biodiversidade_e_conservacao_dos_manguezais_importancia_bioecologica_e_economica>. Acesso em: 12 jan. 2022.

TEUTLI-HERNÁNDEZ, C.; HERRERA-SILVEIRA, J.; COMÍN, F.; LÓPEZ, M. Nurse species could facilitate the recruitment of mangrove seedlings after hydrological rehabilitation. Ecological Engineering, n. 130, jul. 2017.

VALIELA, I.; BOWEN, J. L.; YORK, J. K. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. BioScience, v. 51, n. 10, p. 807, 2001.

VILLAVICENCIO, C.B. As herbáceas *Sesuvium portulacastrum* (Aizoacea) e *Batis maritima* (Batacea) facilitam o estabelecimento e crescimento de *Avicennia germinans* (Acanthaceae) em um manguezal em recuperação na APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil. 2020.

ANEXOS

Anexo 1 - Imagens capturadas por drone da área de estudo comparando os períodos Dez/19 e Dez/20.



Fonte: Luis Ernesto Arruda Bezerra

Anexo 2- Imagens capturadas por drone da área de estudo comparando os períodos Out/18 e Dez/20.



Fonte: Luis Ernesto Arruda Bezerra

Anexo 3 - Registros fotográficos da área de estudo comparando os períodos Abr/18 e Set/21.



Fonte: Luis Ernesto Arruda Bezerra