



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
NÍVEL MESTRADO



ANNY BIANCA SANTOS CRUZ

BIOCHAR E PÓ DE COCO EM ASSOCIAÇÃO COM FUNGOS
MICORRÍZICOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Anadenanthera colubrina*
(Vell.) Brenan.

SÃO CRISTÓVÃO

2024

ANNY BIANCA SANTOS CRUZ

**BIOCHAR E PÓ DE COCO EM ASSOCIAÇÃO COM FUNGOS
MICORRÍZICOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Anadenanthera colubrina*
(Vell.) Brenan.**

Dissertação apresentada como requisito final
para obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio
Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Orientador: Prof. Dr. Milton Marques Fernandes

SÃO CRISTOVÃO

2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SERGIPE**

C957b Cruz, Anny Bianca Santos.
Biochar e pó de côco em associação com fungos micorrízicos
na produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan
/ Anny Bianca Santos Cruz ; orientador Milton Marques
Fernandes. – São Cristóvão, SE, 2024.
66 f.; il.

Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)
– Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Angico-de-caroco. 2. Meio ambiente. 3. Mudas. 4. Espécies –
Conservação e restauração. 5. Gestão integrada de resíduos sólidos.
I. Fernandes, Milton Marques, orient. II. Título.

CDU 582.736.1

ANNY BIANCA SANTOS CRUZ

**BIOCHAR E PÓ DE COCO EM ASSOCIAÇÃO COM FUNGOS
MICORRÍZICOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Anadenanthera colubrina*
(Vell.) Brenan.**

Aprovada em:

Dissertação apresentada como requisito final
para obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio
Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **MILTON MARQUES FERNANDES**
Data: 10/03/2024 10:14:54-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Milton Marques Fernandes-Universidade Federal de Sergipe
(Presidente-Orientador)**

Documento assinado digitalmente
 **INAJA FRANCISCO DE SOUSA**
Data: 04/03/2024 19:07:02-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Inaja Francisco de Sousa -Universidade Federal de Sergipe
(Examinador Interno)**

Documento assinado digitalmente
 **MARIA ISIDORIA SILVA GONZAGA**
Data: 04/03/2024 09:33:03-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Maria Isidória Silva Gonzaga- Universidade Federal de Sergipe
(Examinador Externo)**

DECLARAÇÃO DE VERSÃO FINAL

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Documento assinado digitalmente

MILTON MARQUES FERNANDES

Data: 01/03/2024 18:52:50-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Drº. Milton Marques Fernandes – Orientador
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento
e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe – UFS

CESSÃO DE DIREITOS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Dissertação e emprestar ou vender tais cópias

Documento assinado digitalmente
 **ANNY BIANCA SANTOS CRUZ**
Data: 29/02/2024 09:01:49-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Anny Bianca Santos Cruz
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe – UFS

Documento assinado digitalmente
 **MILTON MARQUES FERNANDES**
Data: 01/03/2024 18:57:19-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Milton Marques Fernandes – Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe – UFS

*Dedico a todas as mulheres que vieram
antes de mim, tornando o presente uma
realidade, e aos que acreditam no poder
da Educação Ambiental.*

AGRADECIMENTOS

Josué 1:9.

Gostaria de iniciar agradecendo a mim mesma por acreditar que todo esse processo daria certo e não desistir em nenhum momento da elaboração desta dissertação.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Socorro e Robson, por sempre acreditarem na educação, pelo incentivo, dedicação e sacrifícios feitos pelo meu crescimento pessoal e profissional. As minhas irmãs, Elisa e Beatriz, e ao meu primo, Bruno, por deixarem esses anos mais leves e pelo apoio de sempre.

Ao meu noivo e melhor amigo Thieres, por ser meu suporte em toda a jornada, por aguentar todos os meus momentos de estresses, por ser calma, por toda paciência, por todas as conversas, por toda ajuda com esta pesquisa. Sem você, esse trabalho não seria possível!

Ao meu orientador, Prof Dr. Milton Marques Fernandes, pela confiança em me orientar, pelo vínculo de amizade criado, pelo auxílio em todas as etapas da construção da dissertação e artigos, também pela oportunidade em fazer parte do Laboratório de Ecologia Florestal.

Agradeço aos que fazem parte do Laboratório de Ecologia Florestal. Aos colegas de laboratório Fernanda, Pablo e Dênier por contribuírem com o presente trabalho.

As pessoas que compõem a UFS - Campus Rural por todo suporte durante a montagem do experimento, em especial ao Seu Marcolino que foi excepcional em todos os momentos que precisei.

Ao Prof Dr. Marcos Vinícius Meiado e ao Me. João Pedro Ferreira Barbosa, pelo auxílio em algumas etapas do projeto para êxito do resultado final.

Aos que fizeram parte da minha banca de qualificação (Prof Dr. Maria Isidória Silva Gonzaga e Prof Dr. Marlúcia Cruz de Santana) e de defesa (Prof Dr Maria Isidória Silva Gonzaga e Prof Dr. Inaja Francisco de Sousa) pela disposição, contribuição e ensinamentos necessários para a pesquisa.

Aos docentes e discentes da turma de 2022 do PRODEMA pelos ensinamentos, apoio e amizade durante o curso. Em especial, a minha dupla Camilla, pela amizade, auxílio e companhia. Amiga, sua ajuda foi essencial pra realização desse trabalho!

Aos meus amigos da vida toda, Alaide, Alícia, Hemily, Estefane, Jeyce e Mateus, também ao meu amigo de graduação, Wesley, pela amizade, conselhos, fofocas edificadoras e por me apoiarem nessa caminhada.

A Universidade Federal de Sergipe (UFS), ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por proporcionar condições físicas, intelectuais e financeiras para esta pesquisa.

Por fim, a todas as pessoas que me inspiraram e contribuíram direta ou indiretamente com a presente dissertação, meu muito obrigada!

*“Eu quero ficar perto de tudo que acho certo
Até o dia em que eu mudar de opinião
A minha experiência, meu pacto com a ciência
O meu conhecimento é minha distração.”*

-Dudu Falcão

RESUMO

A Mata Atlântica tem sido degradada constantemente com interferências antrópicas, assim é necessário buscar métodos para conservação das espécies nativas desse ambiente. Além disso, a produção de mudas para restauração das áreas degradadas alinhado com a redução de resíduos sólidos auxilia na resolução de duas problemáticas envolvendo o meio ambiente, social e econômico. Portanto, o objetivo do presente estudo é avaliar o desenvolvimento de mudas da espécie *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan submetidas ao biochar de lodo de esgoto e pó de coco e gerar a modelagem de nicho ecológico da espécie. A pesquisa foi realizada em delineamento inteiramente casualizado (6 x 2 x 1), onde os tratamentos consistiram na utilização de 10%, 20% e 30% de pó de coco e de biochar de lodo de esgoto em substratos para o crescimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, com presença e ausência de fungos. A cada 15 dias, foram avaliados a altura, o diâmetro do caule e o número de folhas. Em relação à modelagem de nicho, os dados georreferenciados foram coletados no GBIF, utilizou-se as variáveis bioclimáticas do WorldClim 2.0, as quais foram selecionadas por meio da correlação de Pearson. Na modelagem, foi utilizado o algoritmo MaxEnt e a validação foi realizada com a métrica True Skill Statistic (TSS). O modelo foi gerado no ambiente R e o mapa no QGIS. O modelo apresentou TSS: 0,92 e AUC: 0,99. Os resultados demonstraram alta adequabilidade de ocorrência a espécie nos biomas testados. Na projeção futura, observou-se redução da adequabilidade, com destaque para maior adequação no Paraná, Bahia e Sergipe. Para o biochar, houve interação entre concentração e FMA, porém ao observar os parâmetros não houveram diferenças significativas, com exceção de 10% de biochar com FMA, o qual reduziu o número de folhas e 10 e 20% de biochar com FMA causaram redução na altura. Houve efeitos significativos nos tratamentos que testaram a interação entre pó de coco e fungos micorrízicos, em todos os parâmetros avaliados, ao observar o pó de coco com FMA não houveram diferenças significativas, exceto redução do número de folhas em 30%, enquanto sem FMA houve redução em todos os parâmetros testados. Nos parâmetros de fluorescência testados, não houve efeito significativo para o biochar de lodo de esgoto, apenas para o pó de coco.

Palavras-chave: angico, conservação, mudanças climáticas, substratos alternativos, restauração ecológica

ABSTRACT

The Atlantic Forest constantly suffers from human interference, so it is necessary to seek methods to conserve native species in this environment. Furthermore, the production of seedlings to restore degraded areas in line with the reduction of solid waste helps to resolve two problems involving the environment, social and economic. Therefore, the objective of the present study is to evaluate the development of seedlings of the species *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan subjected to biochar from sewage sludge and coconut dust and generate modeling of the species' ecological niche. The research was carried out in a completely randomized design (6 x 2 x 1), where the treatments consisted of using 10%, 20% and 30% of coconut powder and sewage sludge biochar in substrates for the growth of seedlings. *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, with the presence and absence of fungi. Every 15 days, height, stem diameter and number of leaves were evaluated. Regarding niche modeling, georeferenced data was collected in GBIF, using the bioclimatic variables from WorldClim 2.0, which were selected using Pearson correlation. In modeling, the MaxEnt algorithm was used and validation was performed with the True Skill Statistic (TSS) metric. The model was generated in the R environment and the map in QGIS. The model presented TSS: 0.92 and AUC: 0.99. The results demonstrated high suitability of occurrence for the species in the biomes tested. In the future projection, a reduction in suitability was observed, with emphasis on greater suitability in Paraná, Bahia and Sergipe. For biochar, there was an interaction between concentration and AMF, but when observing the parameters there were no significant differences, with the exception of 10% biochar with AMF, which reduced the number of leaves and 10 and 20% biochar with AMF caused a reduction in height. There were significant effects in the treatments that tested the interaction between coconut dust and mycorrhizal fungi, in all parameters evaluated, when observing coconut dust with AMF there were no significant differences, except a reduction in the number of leaves by 30%, while without AMF there was reduction in all tested parameters. In the fluorescence parameters tested, there was no significant effect for sewage sludge biochar, only for coconut dust.

Keywords: angico, conservation, climate change, alternative substrates, ecological restoration

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de modelagem de nicho ecológico da espécie <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan para o presente e futuro nos ecossistemas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica.....	37
Figura 2. Mapa de localização da Universidade Federal de Sergipe (Campus Rural), São Cristóvão, SE.....	47
Figura 3. Mudas de <i>A. colubrina</i> em casa de vegetação.....	48
Figura 4. Preparação do biochar de lodo de esgoto no viveiro da UFS. (a) inserção do lodo de esgoto no reator artificial, (b) momento da queima do lodo de esgoto, (c) pós queima do lodo de esgoto.....	49
Figura 5. Avaliações das mudas de <i>A. colubrina</i> . (a) utilização da trena para medição da altura das mudas, (b) utilização do paquímetro para medição do DNS das mudas.....	51
Figura 6. Gráfico correspondente à altura, DNS e número de folhas do substrato biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação.....	53
Figura 7. Gráfico correspondente à altura, DNS e número de folhas do substrato pó de coco em casa de vegetação.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Delineamento experimental para testar o efeito de substratos alternativos na produção de mudas de <i>A. colubrina</i> . PC-pó de coco; BCLE- biochar de logo de esgoto.....	48
Tabela 2. Análise química do solo nos tratamentos testados.....	50
Tabela 3. Dados de altura, DNS e número de folhas do substrato biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação. *Conc: Concentração.....	52
Tabela 4: Dados de altura, DNS e número de folhas do substrato pó de coco em casa de vegetação. *Conc: Concentração.....	53
Tabela 5: Parâmetros de OJIP da espécie <i>Anadenanthera colubrina</i> em casa de vegetação, em diferentes concentrações lodo de esgoto com e sem inoculação de fungos micorrízicos.....	55
Tabela 6: Parâmetros de OJIP da espécie <i>Anadenanthera colubrina</i> em casa de vegetação, em diferentes concentrações de pó de coco com e sem inoculação de fungos micorrízicos.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS/CS0: Fluxo de fótons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada de PSII (CS) da fluorescência inicial

ABS/RC: Determinação da média dos fluxos de fótons absorvidos (ABS) do total de centros de reação do PSII (RC), também relacionado à medição do tamanho aparente da antena do PSII

Am: Clima tropical úmido ou subúmido

As: Clima tropical com verão seco

Aw: Clima tropical com inverno seco

AUC: Area under curve

BCLE: Biochar de Lodo de Esgoto

BIO1: Temperatura Média Anual

BIO2 :Faixa Diurna Média

BIO3 :Isotérmica

BIO5 :Temperatura Máxima do mês mais quente

BIO12: Precipitação Anual

BIO15: Sazonalidade da Precipitação

BIO18: Precipitação do Trimestre mais quente

Ca: Cálcio

Cfa: Subtropical úmido

Conc: Concentração

CNCFlora: Centro Nacional de Conservação da Flora

DI0/ABS: rendimento quântico de energia dissipada na antena PSII, relacionado a processos não fotoquímicos (calor)

DI0/RC: Fluxo de energia dissipada em outros processos não fotoquímicos pelos centros de reação ativos no PSII

DNS: Diâmetro do caule ao nível do solo

ENM: Modelagem de nicho ecológico

ET0/ABS: rendimento quântico do transporte de elétrons de QA para PQ

ET0/CS0: Fluxo de elétrons de QA- para PQ pela seção transversal de PSII na fluorescência inicial

ET0/RC: Fluxo ou transporte de elétrons (ET) transferidos de QA- para PQ pela atividade dos centros de reação PSII

F0: Fluorescência inicial

Fm: Fluorescência máxima

FMA: fungos micorrízicos arbusculares

GBIF: Global Biodiversity Information Facility

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITPS: Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe

K: Potássio

LC: menos preocupante

MaxEnt: Maximum Entropy

MAQS-Embrapa: Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, Embrapa 2009

Na: Sódio

ODS: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

P: Fósforo

PC: Pó de coco

RAD: Restauração de áreas degradadas

RE0/CS0: Fluxo de transporte de elétrons para aceitadores PSI por seção transversal

PIabs: Índice de desempenho na absorção de base

Pics: Índice de desempenho na seção base

SER: Society for Ecological Restoration

SE: Serviços Ecológicos

SOBRE: Sociedade Brasileira de Restauração

TR0/ABS: rendimento quântico máximo da fotoquímica primária do PSII

TR0/CS0: Fluxo máximo de elétrons energizados aprisionados pela seção transversal do PSII na fluorescência inicial

TR0/RC: O fluxo máximo de elétrons excitados aprisionados pelos centros de reação ativos no PSII

TSS: True Skill Statistic

UFS: Universidade Federal de Sergipe

SUMÁRIO

CAPÍTULO I- CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1-INTRODUÇÃO GERAL.....	18
2-OBJETIVOS.....	19
2.1-OBJETIVO GERAL.....	19
2.2-OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3-REVISÃO DA LITERATURA.	20
3.1-MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO.....	20
3.2- RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	21
3.3-BIOCHAR.....	22
3.4-LODO DE ESGOTO E COCO.....	23
3.5-FUNGOS MICORRÍZICOS.....	23
3.6-APLICAÇÃO DA AGENDA 2030.....	24
3.7-ESPÉCIES ESTUDADAS.....	24
3.7.1- <i>Anadenanthera colubrina</i>	25
3.7.2- <i>Gigaspora margarita</i> Becker & Hall (CNPAB 001) e <i>Glomus clarum</i> Nicol. & Gerd. (CNPAB 005).	25
4. REFERÊNCIAS.....	26

CAPÍTULO II- MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO DA ESPÉCIE *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan.

RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	34
1.INTRODUÇÃO.....	35
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.RESULTADOS.....	37
4.DISSCUSSÃO.....	38
5.CONCLUSÃO.....	39
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

**CAPÍTULO III- EFEITO DO BIOCHAR E PÓ DE COCO COM FUNGOS
MICORRÍZICOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Adenanthera colubrina* (Vell.)
Brenan.**

RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
1-INTRODUÇÃO.....	45
2- MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1-ÁREA DE ESTUDO.....	46
2.2-DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	47
2.3- PREPARAÇÃO DO BIOCHAR	49
2.4-ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO.....	49
2.5-PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E DE CRESCIMENTO.....	51
2.6- ANÁLISE DE DADOS.....	51
3.RESULTADOS.....	52
4. DISCUSSÃO.....	59
5. CONCLUSÃO.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

CAPÍTULO I- CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1-INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, houve um aumento no desmatamento dos biomas brasileiros, alterando a biodiversidade dos ecossistemas. Uma das possibilidades para auxiliar na conservação desses ambientes é a modelagem de nicho ecológico que utiliza pontos georreferenciados para prever a adequabilidade ambiental da espécie em determinadas regiões por meio de variáveis bioclimáticas (Guisan; Zimmermann, 2000).

Modelos climáticos futuros demonstram que regiões áridas e semiáridas, à exemplo da Caatinga, tendem a apresentar cada vez menos precipitação, tornando-se ainda mais quentes e secas (Marengo; Torres; Alves, 2016). De acordo com Dias; Fisch, G.; Fisch, S. (2016), o ecossistema Mata Atlântica também será acometido por mudanças climáticas futuras, apontando como rotineiro o acontecimento de eventos extremos relacionados à temperatura e à precipitação. Além das condições climáticas adversas, atualmente tem-se 57,9% e 26,2% de cobertura de vegetação nativa de Caatinga e Mata Atlântica, respectivamente, devido ao desmatamento e queimadas (Mapbiomas, 2022).

A restauração de ambientes degradados exige a escolha de espécies adequadas, de preferência devem ser pioneiras, nativas e apresentar rápido crescimento, visto que elas estão inseridas nos objetivos estéticos e hidrológicos da área (Galindo et al., 2017). A utilização de mudas para restauração de áreas degradadas (RAD) é um método bastante eficaz, porém devem ser observados todos quesitos de qualidade para que as mudas consigam sobreviver nas demais condições adversas encontradas em campo (Neff; Kettle; Gotor, 2019).

Na produção de mudas, é fundamental a escolha de um bom substrato. Os fungos micorrízicos, por exemplo, ajudam no crescimento e viabilidade das mudas, visto que as micorrizas, através da relação de simbiose, aumentam a absorção de nutrientes e melhoram os estresses ambientais (Sulman et al., 2019; Tedersoo; Bahram; Zobel, 2020). Ainda, estudos recentes têm demonstrado a eficácia do biochar como componente de substrato alternativo, tanto para espécies florestais, como na agricultura, a depender da porcentagem utilizada (Tavares et al., 2021; Silva; Melo; Gonçalves, 2019; Barros; Rezende; Campos, 2019).

O biochar é obtido por meio de pirólise ou biogaseificação de qualquer tipo de biomassa e seu benefício é a geração de energia renovável (Fascella et al., 2020; Cole, 2012). Resíduos orgânicos, sobretudo aqueles cujo descarte rotineiro tem gerado problemas para aterros sanitários, a exemplo daqueles resultantes da cadeia do coco, são potenciais candidatos à transformação em biochar para múltiplos usos, incluindo os substratos alternativos (Silva, 2014). Dessa forma, resíduos sólidos, que muitas vezes são descartados de maneira inadequada, podem ser aproveitados na forma de biocarvão. No caso do presente trabalho, serão utilizados os resíduos de coco e o lodo de esgoto como possíveis alternativas.

O plantio de árvores é responsável por gerar diversos serviços ecossistêmicos para a população, entre eles estão o aumento no bem estar, melhor qualidade de vida e redução nas temperaturas (Duarte et al., 2017), e para o meio ambiente, à exemplo da restauração de áreas degradadas e do sequestro de carbono (Duguma et al., 2020; Domke et al., 2020). Além disso, algumas espécies podem ser utilizadas no meio econômico, como plantas farmacológicas, ornamentais ou até mesmo no âmbito madeireiro (Delices et al., 2022; Toledo-Aceves; Trujillo-Miranda; López-Barrera, 2021).

Assim, surge a seguinte questão: O biochar de lodo de esgoto e o pó de coco são eficazes como fontes alternativas de matéria orgânica na produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan? As hipóteses são: (i) As mudas de angico branco cultivadas em substrato contendo 30% de pó de coco e inoculação de fungos micorrízicos poderão ter maior desenvolvimento que as demais (ii) As mudas de angico branco cultivadas em substrato contendo 30% de biochar de lodo de esgoto e inoculação com fungos micorrízicos poderão ter maior desenvolvimento que os demais tratamentos.

2-OBJETIVOS

2.1-OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é avaliar o desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, inoculadas com fungos micorrízicos em diferentes substratos e a modelagem de nicho ecológico da espécie.

2.2-OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se diferentes concentrações de biochar de lodo de esgoto e pó de coco,

utilizados separadamente, afetam o desenvolvimento de mudas de angico.

- Analisar se a presença ou ausência de fungos micorrízicos associados ao pó de coco ou lodo de esgoto influenciam no desenvolvimento de mudas de angico.
- Observar se ocorrerá interação entre a concentração e presença ou ausência de fungos micorrízicos no experimento.
- Analisar a fluorescência de mudas de angico em diferentes tratamentos em casa de vegetação.
- Gerar a modelagem de nicho ecológico do angico branco.

3-REVISÃO DA LITERATURA

3.1-MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICOS

O conceito de nicho foi estudado por diversos pesquisadores. A primeira definição de nicho na ecologia foi apresentada pelo Joseph Grinnell, o qual citou nicho como referência à distribuição final de uma espécie a um ambiente (Grinnell, 1924). Em seguida, o pesquisador Charles Elton trouxe nicho como uma premissa funcional, o qual seria o papel da espécie na comunidade (Elton, 1927). Ainda, o George Hutchinson tratou o nicho como hipervolume n-dimensional formado pelas variáveis que permitem a sobrevivência da espécie (Hutchinson, 1957). Por fim, o mais recente conceito foi dito por Peterson e Soberón, os quais criaram o que é conhecido como diagrama de BAM (Soberón; Peterson, 2005).

O diagrama de BAM relata os conceitos do biótico, abiótico e movimento. As condições bióticas são as relações entre os seres vivos dentro de uma comunidade, as condições abióticas estão relacionadas aos aspectos físicos, químicos e físico-químicos do ambiente e o movimento se relaciona até onde a espécie consegue chegar e sobreviver (Soberón; Peterson, 2005).

O Brasil está passando e ainda vai passar por diversos períodos de mudanças climáticas, causadas na maioria das vezes por desmatamentos e queimadas e tem como principal foco o aumento do meio agronegócio (MapBiomas, 2022). Pesquisadores estão procurando soluções de minimizar as mudanças climáticas e entender quais espécies precisam ser mais conservadas. Essas normalmente são espécies de rápido crescimento e desenvolvimento, pois ajudam no processo de restauração, mas também estão sendo pesquisadas aquelas que estão correndo riscos de extinção futuro.

A modelagem de nicho ecológico utiliza variáveis bioclimáticas para prever a adequabilidade de espécies por meio de pontos georreferenciados, assim, é possível fazer a predição também para anos futuros auxiliando na criação de planos que protejam e conservem as espécies nativas do país (Peterson, 2011; Guisan; Zimmermann, 2000). A modelagem de nicho climática tem papel importante, visto que permite observar a adequabilidade de espécies bioindicadoras, invasoras, nativas, entre outras (Cruz; Almeida; Fabricante, 2021; Santos; Fabricante, 2020). Com os mapas gerados é possível ter noção do passado, presente e futuro das espécies, assim, consegue-se pensar em planos futuros, à exemplo de maior conservação de áreas específicas e a criação de políticas públicas.

3.2- RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Segundo o MapBiomas, diversos ecossistemas do Brasil estão com redução da vegetação nativa, esses problemas em sua maioria são causados pelas queimadas e desmatamento (MapBiomas, 2022). Na maioria das vezes, isso é ocasionado para expansão da agropecuária a qual tem crescido nos últimos anos. Assim, as consequências da redução da vegetação nativa do Brasil são várias, entre elas estão as mudanças climáticas (referencia). Trabalhos recentes já demonstram a Caatinga cada vez mais quente e seca no futuro e a Mata Atlântica com eventos extremos de frio e calor (referencia).

O meio social é importante ao falar de restaurar ou recuperar uma área. Os indivíduos instalados próximos às áreas precisam entender quais serviços ecossistêmicos (SE) serão gerados, visto que essas pessoas não podem ou devem ficar desamparadas, assim os SEs contribuem com o bem-estar social e econômico da região (Costa et al., 2021). Ainda, vale ressaltar que existem diferenças nos termos restaurar e recuperar, ao recuperar uma área degradada o ser humano pode utilizar diversas espécies que consigam se adaptar a área, porém quando se fala em restaurar é necessário ter conhecimento prévio das espécies que já pertenciam aquele local e utilizá-las (Brasil, 2000). O termo adotado pela Society for Ecological Restoration (SER) é a restauração, definida como o processo que ajuda o ambiente que sofreu impactos antrópicos a ser restaurado, destaca-se que a restauração não substitui a conservação (SER, 2023).

Restaurar uma área degradada é um desafio, sendo assim, um dos principais problemas é o custo, pois é um método bastante caro. Alguns métodos são o plantio de

mudas, poleiros, semeadura direta, além da correção do solo que deve ser realizada em muitos casos, a escolha depende do ecossistema que será restaurado (Rodrigues et al., 2019). Atualmente, os pesquisadores buscam formas de baratear a restauração à exemplo dos substratos alternativos que, além de gerar nutrientes as plantas, diminuem os resíduos sólidos do ambiente (Santos et al., 2021; Cantarelli et al., 2021; Prisa; Caro, 2023).

No Brasil, existem o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) o qual compõe a Lei nº 9985/2000, a qual é importante para o país pois engloba as unidades de conservação federais, estaduais e municipais que devem ser conservadas (Brasil, 2000). Ainda a Lei 12651/2012 concede proteção a áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal atribuindo multa as pessoas que fazem exploração florestal (Brasil, 2012). Essas leis devem ser cumpridas à risca para que os ambientes sejam conservados, visto que no país muitos ecossistemas estão degradados e precisam com urgência de projetos de restauração ecológica.

3.3-BIOCHAR

O biochar, também conhecido como biocarvão, é um produto rico em carbono que proporciona maior retenção de água e aporte de nutrientes potencializando o solo (IBI, 2020). O fato de ser produzido a partir de qualquer tipo de resíduo orgânico torna o biochar um potencial produto para o Brasil, uma vez que o país apresenta grande geração de resíduos sólidos. Essa alternativa pode ajudar o Brasil na redução de seus impactos no meio ambiente, pois o biochar possibilita a reutilização da biomassa e contribui para a sustentabilidade. O mesmo pode ser feito por meio de pirólise, gaseificação ou carbonização hidrotérmica. A pirólise é produzida pelos catalizadores em temperaturas relativamente baixas entre 400-600°C, enquanto a gaseificação varia entre 700-1100°C, sendo assim altas temperaturas (Hansen et al., 2015). A carbonização hidrotérmica é realizada em temperaturas mais baixas variando entre 180-300°C (Libra et al., 2014).

Os benefícios relacionados ao biocarvão também são relacionados à redução do aquecimento global e da intensificação do efeito estufa; também serve para a correção do solo e produção de bioenergia (Centurião et al., 2021; Laird, 2008; Glaser et al., 2002). Diversos substratos alternativos já foram testados na produção de biochar à exemplo da casca de coco, casca de pequi, fibra de coco, casca de arroz, lodo de esgoto, cana de açúcar e entre outros que se mostraram eficazes durante o processo (Basílio et al., 2020, Zelaya, 2016).

3.4-LODO DE ESGOTO E PÓ DE COCO

O *Cocos nucifera* L. é uma espécie alimentícia comumente comercializada devido ao fácil acesso, trazendo benefícios econômicos (Santos et al., 2018). Entretanto, o consumo de coco, nas suas diversas formas, resulta no aumento da produção de resíduos sólidos, aumentando a poluição no meio urbano e em praias. Vale ressaltar que os resíduos de coco ocupam muito espaço nos aterros sanitários, dificultando seu descarte, por isso a sociedade busca métodos para reutilização (Silva, 2014).

Outro resíduo que contribui com a poluição ambiental é o lodo de esgoto. Segundo dados do Sistema de Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), cerca de 100 milhões de pessoas no Brasil não têm coleta de esgoto, com destaque para a região Norte do país. Assim, se faz necessária a reutilização para outros fins, alguns trabalhos demonstram que o lodo de esgoto pode ser utilizado até mesmo na agricultura para fertilização do solo (Lins; Lima, 2022).

Tendo em vista os problemas causados pelo coco verde e o lodo de esgoto, uma das alternativas é sua utilização como substratos alternativos e na produção do biochar, sendo assim uma maneira de prezar pela sustentabilidade do meio ambiente. A produção de mudas com os substratos alternativos gera impactos positivos tanto no meio social e econômico quanto no ambiente.

3.5-FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) têm a função de relação mutualística junto as plantas promovendo aumento dos nutrientes e também são utilizados como fertilizantes. Associar os substratos alternativos aos fungos podem trazer maiores benefícios na restauração de ecossistemas (Caproni et al., 2005). Os fungos micorrízicos podem ser utilizados em mudas visto que sua inoculação pode garantir a simbiose trazendo relações benéficas e reiterando a necessidade de insumos químicos (Costa et al., 2005). Entre os vários benefícios os FMA também promovem melhor condicionamento hídrico a planta, sendo esse um importante fator visto que com as mudanças climáticas futuras é possível que ocorra aumento do déficit hídrico (Hameed et al., 2014)

Oliveira et al (2019) mostraram que a presença dos fungos em uma área não irrigada foi mais eficiente que nas áreas irrigadas, ocorrendo aumento da simbiose. Essa tolerância hídrica ocorre devido às hifas dos fungos, as quais funcionam como raízes

responsáveis por absorção de água e recurso para a espécie (Püschel et al., 2020). Ao testar os fungos com espécies agrícolas, observou-se aumento no crescimento ao comparar com o controle, sendo assim uma importante opção para espécies agronômicas que normalmente sofrem com estresses abióticos (Russomanno; Kruppa; Minhoni, 2021; Santos et al., 2020a).

3.6-APLICAÇÃO DA AGENDA 2030

Atualmente, está ocorrendo a Década das Nações Unidas da Restauração de Ecossistemas, a qual tem como intuito a restauração de todos os continentes até 2030, tem sido iniciado vários projetos em todo o mundo desde a mitigação das mudanças climáticas, conservação de espécies florestais, salvamento de espécies da fauna, olimpíadas em escolas para auxílio da recuperação, entre outros projetos; por isso, restaurar um ambiente está incluso na tríade da agenda 2030 (econômico, social e ambiental) (ONU, 2023). No Brasil, temos como ponto principal de auxílio na restauração a Sociedade Brasileira de Restauração (SOBRE) a qual conscientiza a população e cria projetos de restauração para o país (SOBRE, 2023)

A agenda 2030, criada em 2015, traz consigo 17 objetivos, entre eles estão as três dimensões do desenvolvimento sustentável que são a econômica, social e ambiental (ONU, 2023). Vale ressaltar que o objetivo 13 (ação contra a mudança climática global) e o objetivo 15 (proteger a vida terrestre) estão alinhados ao presente estudo. O presente estudo tende a contribuir com a meta 13.3 que se refere a: “Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima...” (ONU, 2023).

Em relação ao objetivo 15, a maioria dos tópicos estão relacionados à restauração de áreas degradadas e do solo, o combate a espécies exóticas invasoras e a conservação dos ecossistemas (ONU, 2023). Nos últimos anos, tem sido observado o aumento da degradação ambiental nos biomas e ecossistemas brasileiros. O bioma Mata Atlântica é considerado como hotspot mundial e sofre rotineiramente com problemáticas do crescimento populacional e consequente expansão da urbanização, agricultura e pecuária, as quais trazem como consequência o desmatamento de áreas conservadas (Santos et al., 2020b). Devido a isso, faz-se necessário buscar métodos que auxiliem o ecossistema e a busca de serviços ecossistêmicos que beneficiem a comunidade.

3.7-ESPÉCIE ESTUDADA

3.7.1-*Anadenanthera colubrina*

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan é uma árvore nativa do Brasil e da família Fabaceae, conhecida popularmente como angico branco e com principais domínios fitogeográficos na Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Flora e Funga do Brasil, 2023). Um levantamento realizado por Delices et al. (2022) mostrou o potencial farmacêutico e importância da conservação da espécie que conta com mais de 56 compostos terapêuticos. Além disso, essa espécie é importante na área agroeconômica e é utilizada como alucinógena. Do ponto de vista ecológico, o angico branco é uma espécie pioneira e secundária inicial, apresentando rápido crescimento e pode ser utilizada em projetos de restauração de áreas degradadas (Lorenzi, 1992).

Sheer et al, 2012 utilizaram lodo de esgoto pra produção de mudas de *A. colubrina* e demonstraram eficiência no composto para o crescimento da espécie. Lima et al, 2016, testaram a utilização de biochar na espécie e não obtiveram diferenças significativas quanto ao crescimento. Ao testar outros substratos alternativos como borra de café e arroz carbonizado, o arroz foi mais eficiente para qualidade das mudas (Araújo et al., 2020). Utilizando a fibra de coco junto com solo foi detectado um aumento do desenvolvimento da espécie (Macumbi et al., 2023).

3.7.2- *Gigaspora margarita* Becker & Hall (CNPAB 001) e *Glomus clarum* Nicol. & Gerd. (CNPAB 005)

Os fungos micorrízicos utilizados para inoculação nas mudas de *A. colubrina* foram: *Gigaspora margarita* Becker & Hall (CNPAB 001) e *Glomus clarum* Nicol. & Gerd. (CNPAB 005). Ambos fungos são utilizados em inoculação de mudas de leguminosas, visto que trazem benefícios. Silveira et al. (2002), por exemplo, inocularam esses fungos no substrato para avaliação do desenvolvimento de abacate, *G. margarita*, e observaram um crescimento intermediário da espécie, enquanto *G. clarum* induziu grande aumento na altura das plantas. Ainda, as espécies em questão apresentam alta taxa de colonização radicular testadas em milho, sorgo e crotalária, como também alta taxa de colonização; o estudo também cita a importância do *G. clarum* como inoculante comercial devido as vantagens da inoculação (Santos et al., 2000).

As espécies de FMA também foram testadas em espécies arbóreas proporcionando vantagens. Na espécie *Mimosa artemisiana* foi comprovado eficiência de *G. margarita* e *G. clarum*, as quais provavelmente geraram o aumento dos elementos químicos N, P e K,

os quais favoreceram o crescimento da espécie (Hentz, Silva, Júnior, 2012). Na espécie *Colubrina glandulosa* apesar da eficiência de *G. margarita*, demonstra que fazer o mix de FMA para a espécie traz maior proporção de desenvolvimento (Silva, et al., 2020).

4. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. F. P., DE PINHO, E. F. M., DA SILVA, C. A. P., RUAS, M. A. O. Substratos alternativos para a produção de mudas de Angico Branco (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan). **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-7, 2020.

BASÍLIO, J. J. N.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. S. A.; COLEN, F.; OLIVEIRA, L. S. Biochar de casca de pequi como componente de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urophylla* ST. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-10, 2020.

BARROS, D. L.; REZENDE, F. A.; CAMPOS, A. T. Production of *Eucalyptus urograndis* plants cultivated with activated biochar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n. 2, p. 1-6, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000.

CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; GRANHA, J. R. D. D. O.; MARINHO, N. F. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 373-381, 2005.

CANTARELLI, E. B., ZANATTA, T. P., FONTANA, D., BREZOLIN, P., TRENTIN, C., DELLA FLORA, D., & WERNER, C. J. Desenvolvimento inicial de mudas de *Tabebuia impetiginosa* submetidas a diferentes tipos de substratos. **Silvicultura e manejo florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza-volume 1**, v. 1, n. 1, p. 146-155, 2021.

CENTURIÃO, N. C.; USHIWATA, S. Y.; VILAR, C. C.; JÚNIOR, B. H. M. Efeitos de biochars (carvões) provenientes de diferentes materiais na fertilidade de dois solos do Cerrado. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 19, n. 2, p. 70-80, 2021.

COLE, D. P.; SMITH, E. A.; LEE, Y. J. High-resolution mass spectrometric characterization of molecules on biochar from pyrolysis and gasification of switchgrass. **Energy & fuels**, v. 26, n. 6, p. 3803-3809, 2012.

COSTA, C. M. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; SANTOS, V. F. D.; MAIA, L. C. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 225-232, 2005.

COSTA, T. L. D. S. R., MAZZOCHINI, G. G., OLIVEIRA-FILHO, A. T., GANADE, G., CARVALHO, A. R., MANHÃES, A. P. Priority areas for restoring ecosystem services to enhance human well-being in a dry forest. **Restoration Ecology**, v. 29, n. 7, p. e13426, 2021.

CRUZ, A. B. S., ALMEIDA, T. S., & FABRICANTE, J. R. Modelagem de nicho ecológico de musgos bioindicadores. **Acta Brasiliensis**, v. 5, n. 2, p. 83-87, 2021.

DELICES, M.; MULLER, J.A.I.; ARUNACHALAM, K.; MARTINS, D.T.O. *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan: Ethnobotanical, phytochemical, pharmacological and toxicological aspects. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 300, p. 1-17, 2022.

DIAS, V.; FISCH, G.; FISCH, S. T. V. Simulações de clima futuro no domínio da mata atlântica: transecto Ubatuba, SP e Extrema, MG, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, p. 1042-1055, 2016.

DOMKE, G. M.; OSWALT, S. N.; WALTERS, B. F.; MORIN, R. S. Tree planting has the potential to increase carbon sequestration capacity of forests in the United States. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 117, n. 40, p. 24649-24651, 2020.

DUARTE, T. E. P.; ANGEOLETTO, F. H. S.; SANTOS, J. W. M. C.; SILVA LEANDRO, D.; BOHRER, J. F. C.; VACCHIANO, M. C.; LEITE, L. B. O papel da cobertura vegetal nos ambientes urbanos e sua influência na qualidade de vida nas cidades. **Desenvolvimento em Questão**, v. 15, n. 40, p. 175-203, 2017.

DUGUMA, L. A.; MINANG, P. A.; AYNEKULU, B. E.; CARSAN, S.; NZYOKA, J.; BAH, A.; JAMNADASS, R. H. 2020. From Tree Planting to Tree Growing: Rethinking Ecosystem Restoration Through Tree. ICRAF Working Paper No 304.

ELTON, C. Animal Ecology. London: Sidgewick & Jackson. **EltonAnimal Ecology**. 1927, 260 p.

FASCELLA, G.; D'ANGIOLILLO, F.; RUBERTO, G.; NAPOLI, E. Agronomic performance, essential oils and hydrodistillation wastewaters of *Lavandula angustifolia* grown on biochar-based substrates. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112733, 2020.

Flora e Funga do Brasil, 2023. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC.do?lingua=pt> . Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

GALINDO, V.; CALLE, Z.; CHARÁ, J.; ARMBRECHT, I. Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forests in the Central Andes of Colombia. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 5, p. 731-737, 2017.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. **Biology and fertility of soils**, v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002.

GRINNELL, I. Geography and evolution. **Ecology**. v. 5, n.3, p. 225-229, 1924.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N.E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological modelling**. v. 135, p. 147-186, 2000.

HAMEED, A. et al. 2015. Role of AM fungi in alleviating drought stress in plants. In: MIRANSARI M. (Ed.). Use of microbes for the alleviation of soil stresse. New York:Springer. p. 55–75, 2014.

HANSEN, V., MÜLLER-STÖVER, D., AHRENFELDT, J., HOLM, J. K., HENRIKSEN, U. B., HAUGGAARD-NIELSEN, H. (2015). Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. **Biomass and Bioenergy**, v. 72, p. 300-308, 2015.

HENTZ, A. M., SILVA, E. M. R., JÚNIOR, O. J. S. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para promoção do crescimento da leguminosa *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula. **Revista Agroecossistemas**, v. 4, n. 2, p. 40-51, 2013.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**. 1957, v. 22, p. 415-27.

IBI. Biochar for Environmental Management. Disponível em: <https://biochar-international.org/book/> . Acesso em: 29 de dezembro de 2023

LAIRD, D. A. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. **Agronomy journal**, v. 100, n. 1, p. 178-181, 2008.

LIBRA, J. A. et al. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. **Biofuels**, v. 2, n. 1, p. 71-106, 2014.

LIMA, S. L., MARIMON JUNIOR, B. H., MELO-SANTOS, K. D. S., REIS, S. M., PETTER, F. A., VILAR, C. C., MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 120-131, 2016.

LINS, T. C., LIMA, A. S. T. Lodo de Esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci-AL. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e13511830461-e13511830461, 2022.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1. 385 p.

MACUMBI, N. J., DIAS, N. D. S., BRITO, R. F. D., FERREIRA NETO, M., SILVA, J. S. D., LIRA, R. B. D., LEMOS NETO, H. D. S. Wastewater and substrates on the growth of *Anadenanthera colubrina* L. seedlings. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 612-619, 2023.

MAPBIOMAS. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 de julho de 2023.

MARENGO, J. A., TORRES, R. R., ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theor Appl Climatol**, v. 129, n. 3, p.1189-1200, 2016.

NEFF, D., KETTLE, C., GOTOR, E. Costs of tree seed and seedling supply systems. The

cost of integrating genetic diversity into forest landscape restoration. **Biodiversity International**, Rome, 2019, 42p.

OLIVEIRA, T. C., et al. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 4, p. 530-535, 2019.

ONU Brasil. A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> . Acesso em: 02 de janeiro de 2024.

PETERSON, A. T. Ecological niche conservatism: A time-structured review of evidence. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 5, p. 817-827, 2011

PRISA, D., CARO, S. Alternative substrates in the cultivation of ornamental and vegetable plants. **GSC Biological and Pharmaceutical Sciences**, v. 24, n. 1, p. 209-220, 2023

PÜSCHEL, D., BITTERLICH, M., RYDLOVÁ, J., JANSÁ, J. Facilitation of plant water uptake by an arbuscular mycorrhizal fungus: a Gordian knot of roots and hyphae. **Mycorrhiza**, v. 30, n. 2, p. 299-313, 2020.

RODRIGUES R.R; JAKOVAC C.C.; MORAES L.F.; VIEIRA D.; SAMPAIO A.B.; GANADE G.; GARCIA L.C.; OVERBECK G.E. Capítulo 5: Práticas de restauração nos diferentes biomas brasileiros. In Crouzeilles R., Rodrigues R.R., Strassburg B.B.N (eds.). BPBES/IIS: Relatório Temático sobre Restauração de Paisagens e Ecossistemas. Editora Cubo, São Carlos, 2019, 77p.

RUSSOMANNO, O. M. R., KRUPPA, P. C., MINHONI, M. T. A. Influência de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de plantas de alecrim e manjerição. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, p. 37-43, 2021.

SANTOS, A. M. M., SILVA, M. A. O, SÁ, D. A., NEVES, L. P. F., GOUVEIA, F. N, COSTA, K. D. S. Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate e berinjela. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 2, p. 206-212, 2021

SANTOS J.A., LARA, T. S., CORREIA, T. S., SOUSA, L. S. Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos da Savana no desenvolvimento do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 4, p. 21-28, 2020a.

SANTOS, L. D.; SCHLINDWEIN, S. L.; FANTINI, A. C.; HENKES, J. A.; BELDERRAIN, M. C. N. Dinâmica do desmatamento da Mata Atlântica: causas e consequências. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 378- 402, 2020b.

SANTOS, G., FABRICANTE, J. R. Potencial de invasão biológica do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) no Nordeste Brasileiro. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 07-12, 2020.

SANTOS, E. R. S.; SANTOS, T. C.; SOARES, L. S.; DIAS, R. M. F. Avaliação da aplicação das boas práticas na comercialização de água de coco em quiosques localizados em Salvador, BA. **Higiene Alimentar**, v. 32, n. 278/279, 2018.

SANTOS, A. L. D.; DE-SOUZA, F. A.; BERBARA, R. L. L.; GUERRA, J. G. M. Estabelecimento e capacidade infectiva de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* em solo sob erosão. **Acta Botanica Brasilica**, v. 14, p. 127-139, 2000.

SCHEER, M. B., CARNEIRO, C., BRESSAN, O. A., SANTOS, K. G. D. Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Cerne**, v. 18, p. 613-622, 2012.

SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL E POLICY WORKING GROUP. The SER International Primer on Ecological Restoration. Disponível em: < www.ser.org >. Acesso em: 02 de janeiro de 2023

SILVA, A. C. R., CAMARA, R., PEREIRA, M. G. G., JÚNIOR, J. Q. O., DA SILVA SANTANA, J. E., SILVA, E. V. Production of Colubrina glandulosa seedlings with different mycorrhizal inocula. **Floresta**, v. 50, n. 4, p. 1731-1740, 2020.

SILVA, L. F. V.; MELO, E. I.; GONÇALVES, P. A. S. Biochar de serragem de eucalipto como condicionador de substratos para produção de mudas de alface. **Agri-Environmental Sciences**, v. 5, 2019.

SILVA, A. P. M., SCHWEIZER D., RODRIGUES-MARQUES, H., CORDEIRO-TEIXEIRA, A. M, SANTOS, T. V. M. N, SAMBUICHI, R. H. R., BADARI, C. G., GAUDARE, U, BRANCALION, P. H. S. Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil? **Restoration Ecology**, v. 25, p. 509-515, 2017.

SILVA, A. C. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, 2014.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. I. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. Microbiologia do Solo. Campinas: Sociedade brasileira de ciências do solo, 1992. p. 257- 282.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: < <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros> >. Acesso em: 03 de janeiro de 2024.

SOBRE. Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica. Disponível em: < <https://www.sobrestauracao.org/> >. Acesso em: 02 de janeiro de 2024.

SOBERON, J., PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 1-10, 2005.

SULMAN, B. N., SHEVLIAKOVA, E., BRZOSTEK, E. R., KIVLIN, S. N., MALYSHEV, S., MENGE, D. N. L., ZHANG, X. Diversas associações de micorrizas aumentam o armazenamento terrestre de C em um modelo global. **Ciclos Biogeoquímicos Globais**, v. 33, p. 501-523, 2019.

TAVARES, Q. G.; ABRANCHES, M. O.; RIBEIRO, C. H. M.; SILVA, G. A. M.; PAULA, L. B. Uso do biochar como alternativa na melhoria da qualidade de substrato para o cultivo de cenoura. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 2, p. 103-109, 2021.

TEDERSOO, L., BAHRAM, M., ZOBEL, M. How mycorrhizal associations drive plant population and community biology. **Science**, v. 367, n. 6480, p. eaba1223, 2020.

TOLEDO-ACEVES, T., TRUJILLO-MIRANDA, A. L., LÓPEZ-BARRERA, F. Tree regeneration in active and passive cloud forest restoration: Functional groups and timber species. **Forest Ecology and Management**, v. 489, p. 119050, 2021.

ZELAYA, K. P. S. Caracterização de biocarvão de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e efeitos no cultivo de beterraba. Dissertação- Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 72p. 2016.

CAPÍTULO II- MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO DA ESPÉCIE

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan.

RESUMO

A modelagem de nicho ecológico (ENM) é uma análise que prediz a adequabilidade das espécies no espaço por meio de pontos georreferenciados e variáveis ambientais. Dessa forma, é possível fazer previsões do passado, presente e futuro. Portanto, o objetivo desta pesquisa é gerar o mapa de modelagem de nicho ecológico da espécie *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan atual e suas projeções para o futuro. Para a ENM, as ocorrências foram coletadas da base de dados online GBIF e as variáveis bioclimáticas foram retiradas do WorldClim 2.0, as quais foram selecionadas por meio da correlação de Pearson. Para modelagem utilizou-se o algoritmo MaxEnt com validação pela métrica True Skill Statistic (TSS) e Area Under Curve (AUC). Para modelagem futura foi realizada a projeção para 2080 com as médias das variáveis do AOGCM (CNRM-CM6-1 e MIROC6) disponíveis no CMIP6, foi gerada a projeção pessimista e a otimista. O modelo foi gerado no ambiente R e o mapa no QGIS. O modelo apresentou TSS: 0,92 e AUC: 0,99. Os resultados demonstraram alta adequabilidade de ocorrência de *A. colubrina* para os biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga no presente, porém, na projeção futura, observou-se redução da adequabilidade da espécie. As áreas com melhores valores de adequabilidade no futuro ficam nos estados do Paraná, Bahia e Sergipe.

Palavras-chave: angico, ecossistemas brasileiros, mudanças climáticas.

ABSTRACT

Ecological niche modeling (ENM) is an analysis that predicts the suitability of species in space through georeferenced points and environmental variables. This way, it is possible to make predictions about the past, present and future. Therefore, the objective of this research is to generate the ecological niche modeling map of the current *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan species and its projections for the future. For ENM, occurrences were collected from the GBIF online database and bioclimatic variables were taken from WorldClim 2.0, which were selected using Pearson correlation. For modeling, the MaxEnt algorithm was used with validation by the True Skill Statistic (TSS) and Area Under Curve (AUC) metrics. For future modeling, a projection for 2080 was carried out with the averages of the AOGCM variables (CNRM-CM6-1 and MIROC6) available in CMIP6, a pessimistic and optimistic projection was generated. The model was generated in the R environment and the map in QGIS. The model presented TSS: 0.92 and AUC: 0.99. The results demonstrated high suitability of occurrence of *A. colubrina* for the Atlantic Forest, Cerrado and Caatinga biomes at present, however in the future projection a reduction in the suitability of the species was observed. The areas with the best suitability values in the future are in the states of Paraná, Bahia and Sergipe.

Keywords: angico, brazilian ecosystems, climate changes

INTRODUÇÃO

Modelos climáticos futuros demonstram alterações no clima de diversos ecossistemas. Estas alterações afetam diretamente a distribuição das espécies, trazendo os riscos de extinção (Aide et al., 2019). No Brasil, modelagens das condições climáticas futuras apontam eventos extremos de aquecimento e resfriamento em modelos projetados para metade e final do século XXI (Ávila-Díaz et al, 2020).

As mudanças climáticas vão afetar diversos aspectos ecológicos, econômicos e sociais, tornando necessário levá-las em conta para o planejamento de ações de longo prazo como a restauração de ecossistemas (Gastón et al, 2014). A restauração de ambientes degradados tem diversos objetivos, entre eles estão a mitigação das mudanças climáticas e a conservação da biodiversidade (Bustamante et al., 2019). Atualmente, ferramentas ecológicas e computacionais são indicadas para avaliar os efeitos das mudanças climáticas em espécies através de modelagem de nicho ecológico (MNE) e suas projeções para o futuro (Elith e Leathwick, 2009, Castro et al, 2021)

O conceito mais recente de nicho indica que a distribuição das espécies é determinada pelos fatores abióticos, bióticos e potencial de dispersão (Soberón e Peterson, 2005). Os autores utilizam um diagrama conhecido como diagrama BAM (Biotic, Abiotic, Movement) para sintetizar essa ideia. Cada um dos componentes demonstra a área no espaço ambiental onde as espécies encontram as condições favoráveis para sua sobrevivência. Ou seja, no componente Abiótico as espécies encontram as condições ambientais favoráveis, no Biótico é onde as relações interespecíficas são sustentáveis e o Movimento é todo o espaço geográfico que a espécie tem acesso. Assim, a intercessão entre os três fatores é a distribuição real da espécie (Soberón e Peterson, 2005).

A modelagem é uma ferramenta que pode ser usada para aplicar o conceito de nicho em diversos objetivos. Essa aplicação pode se dar através modelagem de nicho ecológico (distribuição potencial das espécies) e modelos de distribuição de espécies (distribuição real das espécies) (Soberón, Osorio-Olvera, Peterson, 2017). A modelagem de nicho ecológico utiliza variáveis bioclimáticas que define o nicho climático da espécie por meio de modelos preditivos, podendo observar o passado, presente e o futuro da espécie, já a modelagem de distribuição adiciona também interações bióticas, potencial de dispersão ou outras dimensões do nicho para aproximar-se ainda mais da distribuição real da espécie. (Yates et al., 2018; Guisan, Thuiller, Zimmermann, 2017; Guisan e Zimmermann, 2000). Assim, a modelagem de nicho ecológico pode ser usada como uma

maneira de auxiliar na conservação e restauração, por exemplo, indicando áreas mais adequadas para a conservação da espécie (Guisan et al., 2013) ou áreas onde as espécies podem ser usadas para projetos de restauração ecológica (Gastón et al, 2014).

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan conhecida como angico, é pioneira e nativa do Brasil com potencial etnobotânico e farmacológico (Delices et al., 2022). A espécie ocorre nos ecossistemas Mata Atlântica, Caaatinga e Cerrado, apesar da ampla distribuição, esses ambientes sofrem rotineiramente com as mudanças no uso e cobertura da terra (Flora e Funga do Brasi, 2023, MapBiomas, 2022). *A. colubrina* é conhecida pela rápida germinação e desenvolvimento sendo assim importante na restauração de ambientes degradados (Magalhães et al., 2021; Rodrigues et al., 2007). Por conta disso, conhecer sua distribuição atual e futura auxilia na possível conservação da espécie e dos ecossistemas onde ela se encontra. Portanto, o objetivo do presente trabalho é gerar a modelagem de nicho ecológico presente e futura da espécie *A. colubrina*.

MATERIAL E MÉTODOS

Na modelagem de nicho ecológico, foram obtidos 8910 pontos georreferenciados da espécie *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan obtidos na base de dados online Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2023) para a área de estudo que foram Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado, sendo esses os domínios de ocorrência da espécie. Por conseguinte, foi realizada uma filtragem dos pontos, excluindo os pontos problemáticos (no oceano e fora da área de estudo), e filtrando-os espacialmente para manter apenas os pontos que estivessem a uma distância máxima de 10 km, restando assim 1529 pontos. Foram coletadas 19 variáveis bioclimáticas de temperatura e precipitação do WorldClim 2.0 com resolução de 2,5 min. Essas variáveis são resultantes de dados históricos dos anos de 1970 a 2000 (Fick e Hijmans, 2017). Das variáveis coletadas, só foram utilizadas aquelas que apresentaram coeficiente de correlação menor que |0,7| calculado por uma Correlação de Pearson. Assim, as variáveis utilizadas foram: BIO1 (Temperatura Média Anual), BIO2 (Faixa Diurna Média), BIO3 (Isotérmica), BIO5 (Temperatura Máxima do mês mais quente), BIO12 (Precipitação Anual), BIO15 (Sazonalidade da Precipitação) e BIO18 (Precipitação do Trimestre mais quente).

Para a modelagem, foi utilizado o algoritmo Maximum Entropy (MaxEnt) (Phillips et al., 2006) com 10 réplicas em bootstrap onde 70% dos pontos são utilizados para o treino e o restante para teste do modelo. No teste do modelo, foram geradas 50000

pseudo-ausências em regiões com baixa adequabilidade ambiental (Valavi et al., 2022). Para testar os modelos, utilizou-se a métrica TSS (True Skill Statistic) e AUC (Area Under Curve) na qual valores de TSS maiores que 0,5 e AUC maior que 0,7 indicam que o modelo tem poder preditivo satisfatório (Allouche Tsoar e Kadmon, 2006). Para modelagem futura projetada para 2080 foi feita uma média das variáveis de AOGCMs (CNRM-CM6-1 e MIROC6) disponíveis no CMIP6, foram feitos para o cenário pessimista ssp 585 e otimista ssp 126 (Eyring et al., 2016). O processo de modelagem foi realizado por meio do pacote “SDM” (Naimi; Araujo, 2016) no ambiente R (R CORE TEAM, 2022).

RESULTADOS

A modelagem de nicho ecológico que foi realizado apenas para a Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado gerou um modelo com predição satisfatória ($AUC = 0,99$ / $TSS = 0,92$). O modelo demonstrou alta adequabilidade de ocorrência na maioria dos estados, com exceções principalmente em partes do Maranhão, Mato Grosso, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Bahia, os quais apresentaram algumas manchas azuis que representam baixa adequabilidade de ocorrência do angico branco (Figura 1a).

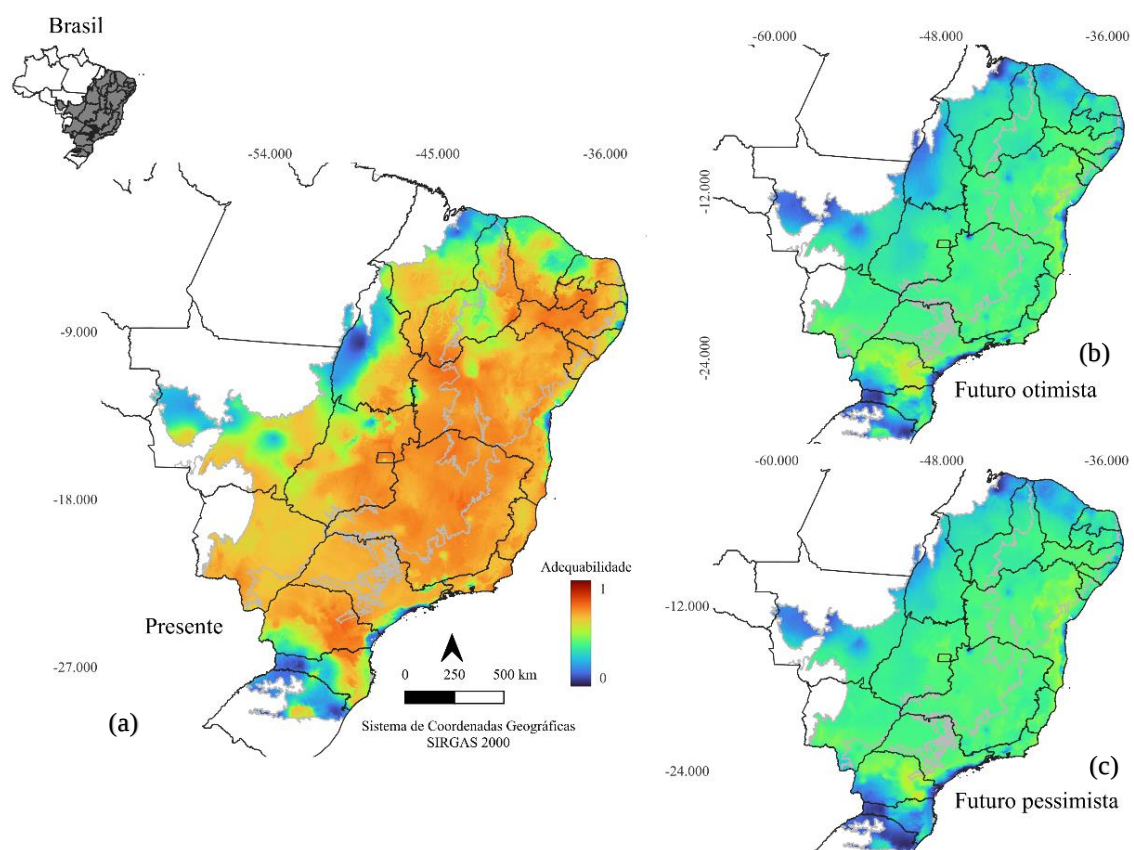


Figura 1. Mapa de modelagem de nicho ecológico da espécie *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan para o presente e futuro nos ecossistemas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica.

Ao observar a modelagem futura projetada para 2080 em cenário otimista e pessimista, nota-se a redução da adequabilidade climática da espécie nos ecossistemas de ocorrência (Figura 1b-c). Os estados, tanto no cenário pessimista quanto no otimista, que vão apresentar maior susceptibilidade de ocorrência da espécie no futuro são: Paraná, Sergipe e Bahia, os quais constituem os ecossistemas Caatinga e Mata Atlântica. No Cerrado, o melhor local de adequabilidade futura foi o Mato Grosso do Sul.

DISCUSSÃO

De acordo com o Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora, 2023), na última avaliação realizada sobre a espécie, em 2012, demonstra que ela se enquadra na categoria LC (menos preocupante). *A. colubrina* é uma espécie que tem distribuição geográfica nos ecossistemas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (Flora e Funga do Brasil, 2023). Sendo assim, a espécie é capaz de suportar solos pobres e baixa precipitação, além disso é uma espécie pioneira demonstrando grande potencial para ser utilizada para recuperação de áreas degradadas (Lorenzi, 1949).

Ao observar os estados de maior adequabilidade futura (Paraná, Bahia, Sergipe e Mato Grosso do Sul), é notório a adaptação da espécie a diferentes ecossistemas, precipitações e temperaturas. O clima desses estados, de acordo com Koppen, são: no Paraná é subtropical úmido (Cfa), Sergipe possui o clima tropical com verão seco (As), Bahia e Mato Grosso do Sul apresentam o clima tropical com inverno seco (Aw). Entretanto, modelos climáticos futuros projetados para o Brasil demonstram grandes alterações nos ecossistemas, tornando-se cada vez mais quentes ou frios (Ávila-Díaz et al, 2020). Esse cenário fica evidente quando observada a modelagem para 2080, na qual a espécie encontra-se em estado bastante preocupante, visto que a adequabilidade de ocorrência é baixa.

Giamminola et al. (2020) projetaram a adequabilidade de ocorrência da *A. colubrina* na Argentina para 2050 e concluíram que mudança de uso e cobertura da terra e mudanças climáticas podem afetar a distribuição da espécie no país. Em outro estudo, Rodrigues et al., (2015) fez um compilado com as espécies *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Myracrodruon urundeuva* e projetou para 2080 trazendo também perdas principalmente no semiárido nordestino, Minas Gerais e Paraná, alguns desses estados não corroboram com o presente estudo, o qual mostrou Paraná, Bahia e

Sergipe como essenciais para o futuro de *A. colubrina*. Essa pesquisa pode estar relacionada com a mesma problemática da Argentina, visto que, os ecossistemas brasileiros passam por diversos impactos antrópicos com desmatamento e queimadas recorrentes (Mapbiomas, 2022).

O trabalho demonstrou preocupação na adequabilidade futura da espécie. Buscar programas de restauração ecológica é uma forma de auxiliar na conservação de *A. colubrina*, a qual é importante para os ecossistemas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica para que assim sejam reduzidos os prejuízos futuros. Ainda, é importante que esse tipo de pesquisa seja replicado para outras espécies colaborando com os objetivos da Década das Nações Unidas para Restauração dos Ecossistemas (ONU, 2023). Entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável está o objetivo 13 “Ação contra a mudança global do clima”, assim, a restauração ecológica hoje é uma das melhores soluções para mitigação das mudanças climáticas, utilizar esse método junto com espécies de rápido crescimento, como angico, pode auxiliar no futuro dos ecossistemas do país (ONU, 2023).

CONCLUSÃO

A espécie *Anadenanthera colubrina* demonstrou alta adequabilidade presente nos ecossistemas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Entretanto, ao observar a adequabilidade futura a partir das mudanças climática, foi possível observar a diminuição da adequação da espécie ao ambiente. Portanto, é preciso conservar essa espécie importante para esses ecossistemas brasileiros, principalmente por apresentar rápido crescimento, o que pode ajudar em restaurações ecológicas futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDE, T.M. et al. Woody vegetation dynamics in the tropical and subtropical Andes from 2001 to 2014: satellite image interpretation and expert validation. **Global Change Biology**, 25: 2112-2126, 2019.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of applied ecology**, 43: 1223-1232, 2006.
- AVILA-DIAZ, A. et al. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, 55: 1403-1426, 2020.

BUSTAMANTE, M. M. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 24: 1249-1270, 2019.

CASTRO, J. et al. Precision restoration: A necessary approach to foster forest recovery in the 21st century. **Restoration Ecology**, 29: 1-13, 2021.

CNCFlora- Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: < <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal> >. Acesso em: 06 dez. 2023.

DELICES, M.; MULLER, J. D. A. I., Arunachalam, K., & de Oliveira Martins, D. T. *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan: Ethnobotanical, phytochemical, pharmacological and toxicological aspects. **Journal of Ethnopharmacology**, 300: 1-17, 2022.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, 40: 677-697, 2009.

EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, 9: 1937-1958, 2016.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, 37: 4302-4315, 2017.

Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC.do;jsessionid=F87C3F755150D42B439AC8EFB5BDCCD5> >. Acesso em: 06 dez. 2023.

GASTÓN, A. et al. Species distribution models applied to plant species selection in forest restoration: are model predictions comparable to expert opinion?. **New forests**, 45: 641-653, 2014.

GBIF- *Global Biodiversity Information Facility*. Disponível em: < <https://www.gbif.org/> >. Acesso em: 06 dez. 2023.

GIAMMINOLA, E. M. et al. Will global change modify the distribution of the *Anadenanthera colubrina* (Fabales: Fabaceae) plant, a key species in dry tropical forest?. **Revista de Biologia Tropical**, 68: 517-527, 2020.

- GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological modelling**, 135: 147-186, 2000.
- GUISAN, A. et al. Predicting species distributions for conservation decisions. **Ecology letters**, 16: 1424-1435, 2013.
- GUISAN, A.; THUILLER, W.; ZIMMERMANN, N. E. Habitat suitability and distribution models: With applications in R. UK: Cambridge University Press, 2017. 462 p.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1949. 385 p.
- MAGALHÃES, P. S. C. et al. Fruit and seed morphometry and methods for overcoming sleep of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae). **Research, Society and Development**, 10: 1-13, 2021.
- MAPBIOMAS. Disponível em: < <https://brasil.mapbiomas.org/> >. Acesso em: 06 dez. 2023.
- NAIMI, B., ARAÚJO, M.B. SDM: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, 39: 368-375, 2016.
- ONU - Organização das Nações Unidas. Declaração Universal dos. Direitos Humanos da ONU. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br> > Acesso em: 06 dez. 2023.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, 190: 231-259, 2006.
- RODRIGUES, A. C. D. C. et al. Efeito do substrato e luminosidade na germinação de *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae, Mimosoideae). **Revista Árvore**, 31: 187-193, 2007.
- RODRIGUES, P. M. S. et al. Climate change effects on the geographic distribution of specialist tree species of the Brazilian tropical dry forests. **Brazilian Journal of Biology**, 75: 679-684, 2015.
- SOBERÓN, J.; OSORIO-OLVERA, L.; PETERSON, T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, 88: 437-441, 2017.
- SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**. 2: 1-10, 2005.
- SOBERÓN, J. M. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography**, 33: 159-167, 2010.

- VALAVI, R. et al. Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. **Ecological Monographs**, 92: e01486, 2022.
- YATES, K. L. et al. Outstanding challenges in the transferability of ecological models. **Trends in ecology & evolution**, 33: 790-802, 2018.

**CAPÍTULO III- EFEITO DO BIOCHAR E PÓ DE COCO COM FUNGOS
MICORRÍZICOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Adenanthera colubrina*
(Vell.) Brenan.**

RESUMO

A década da restauração ecológica tem como intuito restaurar áreas até 2030. A produção de mudas é uma das etapas na restauração ecológica que pode utilizar resíduos sólidos e fungos micorrízicos que proporcionem maior desenvolvimento às espécies. Assim, o objetivo da pesquisa é avaliar o desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, inoculadas com fungos micorrízicos em diferentes substratos. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado (6x2x1) onde os tratamentos consistiram na utilização de 10%, 20% e 30% de pó de coco e de biochar de lodo de esgoto em mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan com presença e ausência de fungos micorrízicos. A cada 15 dias, foram avaliados a altura, diâmetro do caule e número de folhas durante três meses. Foram avaliados parâmetros ecofisiológicos com fluorímetro em casa de vegetação. Para o biochar, houve interação entre concentração e substrato, porém ao observar os parâmetros não houveram diferenças significativas. Houve efeitos significativos nos tratamentos que testaram a interação entre pó de coco e fungos micorrízicos, em todos os parâmetros avaliados, ao observar o pó de coco com FMA não houveram diferenças significativas. Nos parâmetros de fluorescência testados, não houve efeito significativo para o biochar de lodo de esgoto, apenas para o pó de coco. A presença de biochar não interferiu nos parâmetros de fluorescência das plantas; já na presença de pó de coco, os parâmetros TR0ABS, ET0ABS, DI0ABS, ABSRC, Piabs e ABSCS0 foram significativos; o tratamento com 10% de pó de coco sem fungo apresentou melhor resultado.

Palavras-chave: angico, biocarvão, pirólise, restauração ecológica, substratos alternativos.

ABSTRACT

The decade of ecological restoration aims to restore areas by 2030. The production of seedlings is one of the steps in ecological restoration that can use solid waste and mycorrhizal fungi that provide greater development for species. Thus, the objective of the research is to evaluate the development of seedlings of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, inoculated with mycorrhizal fungi in different substrates. A completely randomized design (6x2x1) was carried out where the treatments consisted of the use of 10%, 20% and 30% of coconut powder and sewage sludge biochar in seedlings of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan with the presence and absence of mycorrhizal fungi. Every 15 days, height, stem diameter and number of leaves were evaluated for three months. Ecophysiological parameters were evaluated with a fluorimeter in a greenhouse. For biochar, there was an interaction between concentration and substrate, however when observing the parameters there were no significant differences. There were significant effects in the treatments that tested the interaction between coconut dust and mycorrhizal fungi, in all parameters evaluated, when observing coconut dust with AMF there were no significant differences. In the fluorescence parameters tested, there was no significant effect for sewage sludge biochar, only for coconut dust. The presence of biochar did not interfere with the plants' fluorescence parameters; in the presence of coconut dust, the parameters TR0ABS, ET0ABS, DI0ABS, ABSRC, Piabs and ABSCS0 were significant; the treatment with 10% fungus-free coconut powder showed better results.

Keywords: angico, biochar, pyrolysis, ecological restoration, alternative substrates.

1.INTRODUÇÃO

Ecossistemas como Caatinga e Mata Atlântica têm sido desmatados constantemente nos últimos quatro anos (MAPBIOMAS, 2022). A restauração de áreas degradadas é o método que auxilia no retorno a homeostase dos ecossistemas e consequentemente é uma estratégia de mitigação das mudanças climáticas (Zhang et al., 2021).

Estamos na década da restauração, a qual, em consenso com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) tem como intuito restaurar áreas degradadas e vulneráveis até 2030 (ONU, 2023). Diversas técnicas podem ser utilizadas na restauração de ambientes degradados, à exemplo de produção de mudas, regeneração natural, banco de sementes, semeadura direta, entre outros (Soares, 2010). A produção de mudas é uma das técnicas mais utilizadas, porém apesar da eficácia, é um método relativamente caro, mas, existem formas que auxiliem no barateamento.

O melhor custo benefício futuro para produção de mudas é utilizar espécies pioneiras, nativas e de rápido crescimento quando se pretende formar um dossel o mais rápido possível (Piña-Rodrigues, Reis, Marques, 1997). Além disso, utilizar substratos alternativos pode contribuir com o barateamento da produção (Santos et al., 2021; Cantarelli et al., 2021; Prisa; Caro, 2023). Assim, o biochar ou, também conhecido como biocarvão, proporciona retenção de água e maior quantidade de nutrientes, sendo assim utilizado na correção do solo, como substrato alternativo, entre outros (IBI, 2020). Os benefícios em larga escala da utilização do biochar são a redução da intensificação do efeito estufa e redução da emissão de carbono (Xu et al., 2016). Para as mudas, os benefícios do biochar estão relacionados ao melhor enraizamento, já que ele consegue proporcionar aeração, umidade e nutrição provendo maior crescimento à planta (Rezende et al., 2016, Batista, 2016)

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), milhões de pessoas no Brasil ainda possuem esgoto a céu aberto, sem a possibilidade de reutilização. Com a obrigatoriedade do recolhimento de esgotos, as estações de tratamento (ETE) produzirão maior quantidade de lodo de esgoto, aumentando a necessidade de tratamento e descarte adequado. O aproveitamento do lodo de esgoto na agricultura é uma estratégia positiva pois o resíduo é rico em carbono e outros nutrientes. Outro resíduo produzido em grande quantidade e com difícil descarte é

o coco verde, o qual ocupa rapidamente aterros sanitários devido seu grande volume. Porém, esse também é um resíduo ricos em nutrientes, especialmente potássio, que auxiliam no desenvolvimento de espécies vegetais (Silva, 2014).

Ainda, para melhor desenvolvimento das mudas, caso a espécie possua associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é importante implementá-lo, visto que eles têm a função de simbiose com a planta auxiliando na disponibilidade de nutrientes, assim a espécie consegue maior desenvolvimento arbuscular e radicular favorecendo a sobrevivência durante a produção das mudas e em campo, contribuindo ainda com composição do solo e fixação de carbono (Fernandes et al., 2023, Braghirolli et al., 2012).

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan conhecida como angico, é uma espécie pioneira e nativa do Brasil. Ocorrendo nos ecossistemas Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado (Flora e Funga do Brasi, 2023). O angico apresenta rápida germinação e desenvolvimento, por isso normalmente é utilizado para restauração de ambientes degradados (Magalhães et al., 2021, Rodrigues et al., 2007). Essa espécie é importante também devido ao seu potencial farmacológico e madeireiro para construção civil (Delices et al., 2022, Carlos; Diodato; Castro, 2021).

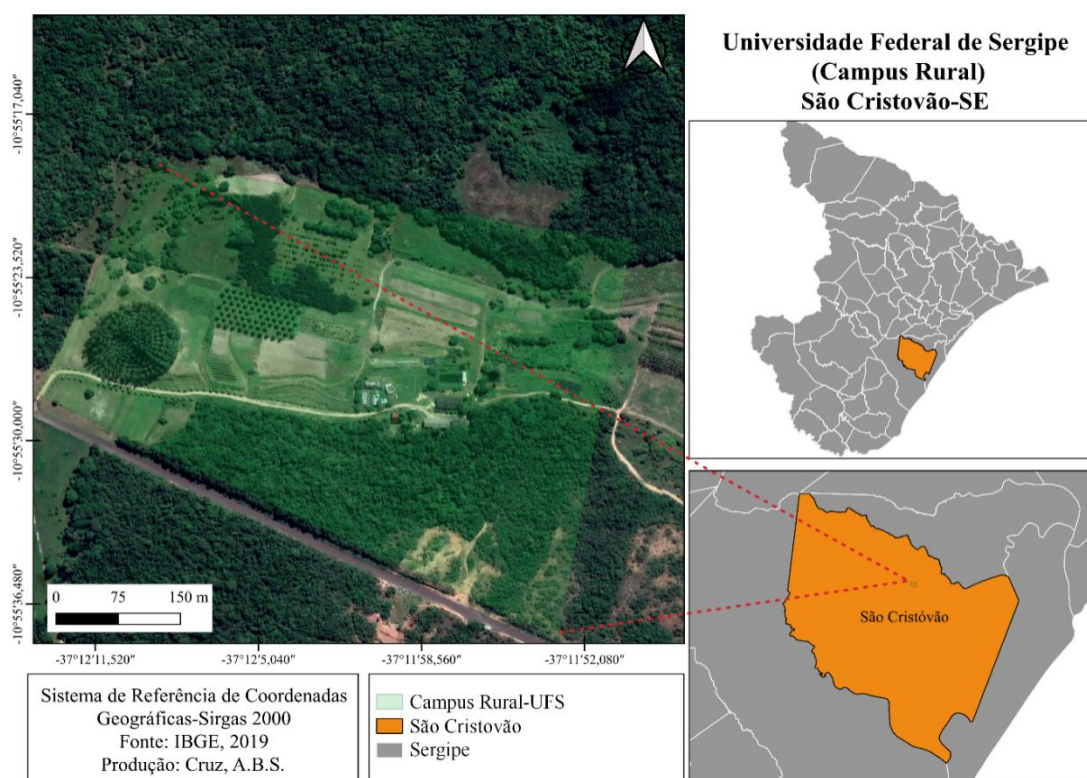
Portanto, o objetivo da pesquisa é avaliar o desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, inoculadas com fungos micorrízicos em diferentes substratos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1-ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em uma casa de vegetação do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe (Figura 2), localizado no povoado Timbó, o qual fica no município de São Cristóvão, Sergipe, Brasil (-10.924294, -37.199233). Segundo a classificação de Koppen, o município apresenta clima do tipo Am que é o clima de monção (tropical úmido ou subúmido) (Alvares et al., 2013).

Figura 2: Mapa de localização da Universidade Federal de Sergipe (Campus Rural), São Cristóvão, Sergipe.



Fonte: Autores

2.2-DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As sementes de *A. colubrina* (angico branco) foram semeadas em terra vegetal, cinco sementes em saquinhos de polietileno, em seguida foi realizado o desbaste restando apenas uma plântula em cada saquinho, as mudas foram mantidas três meses em estufa para as avaliações.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (6x2x1), totalizando 12 tratamentos mais o tratamento controle. Os fungos micorrízicos arbusculares utilizados foram *Gigaspora margarita* Becker & Hall (CNPAB 001) e *Glomus clarum* Nicol. & Gerd. (CNPAB 005). No delineamento, foi realizada a presença ou ausência de fungos em diferentes porcentagens de pó de coco e biochar de lodo de esgoto (Tabela 1). Cada tratamento tem 10 repetições totalizando 130 mudas. Cada saquinho continha uma proporção de 3:1 de areia lavada e arenoso junto com as porcentagens do substrato de fonte orgânica.

Tabela 1: Delineamento experimental para testar o efeito de substratos alternativos na produção de mudas de *A. colubrina*. PC-pó de coco; BCLE- biochar de lodo de esgoto.

Tratamentos		
Tratamento 1	10% BCLE	Fungo
Tratamento 2	20% BCLE	Fungo
Tratamento 3	30% BCLE	Fungo
Tratamento 4	10% BCLE	Sem fungo
Tratamento 5	20% BCLE	Sem fungo
Tratamento 6	30% BCLE	Sem fungo
Tratamento 7	10% PC	Fungo
Tratamento 8	20% PC	Fungo
Tratamento 9	30% PC	Fungo
Tratamento 10	10% PC	Sem fungo
Tratamento 11	20% PC	Sem fungo
Tratamento 12	30% PC	Sem fungo
Tratamento 13	Controle	Controle

Os tratamentos possuíam as porcentagens de 10%, 20% e 30% de pó de coco, com e sem fungo, as mesmas porcentagens com o biochar de lodo de esgoto, com presença e ausência de fungos e o tratamento controle, o qual possui apenas substrato artificial (Figura 3). Os tratamentos ficaram durante três meses em casa de vegetação.

Figura 3: Mudas de *A. colubrina* em casa de vegetação.



Fonte: Autores.

2.3- PREPARAÇÃO DO BIOCHAR

O biochar utilizado nessa pesquisa foi obtido por meio da pirólise lenta, onde o substrato lodo de esgoto foi colocado em altas temperaturas em um reator artesanal com média de 500-600 °C durante 3 horas, alcançando assim um biocarvão sólido para ser utilizado como substrato (Elkhalifa et al., 2019) (Figura 4). A preparação do biochar realizou-se no viveiro da Universidade Federal de Sergipe (UFS), campus São Cristóvão.

Figura 4: Preparação do biochar de lodo de esgoto no viveiro da UFS. (a) inserção do lodo de esgoto no reator artificial, (b) momento da queima do lodo de esgoto, (c) pós queima do lodo de esgoto.



Fonte: Autores

2.4-ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

A análise química do solo foi realizada no laboratório de solos da Universidade Federal de Sergipe (UFS) nos substratos sem a presença de fungos micorrízicos (Tabela 2).

Tabela 2: Análise química do solo nos tratamentos testados.

Tratamentos	pH	em	Cálcio + Magnésio	Cálcio	Alumínio	Sódio	Potássio	Fósforo	Nitrogênio	Carbono Orgânico
Unidade	-		cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g/Kg	%
LQ	--		0,23	0,09	0,08	2,2	1,4	1,4	<0,17	
Controle	6,25		<0,23	<0,09	<0,08	2,4	2,7	1,4	<0,17	<0,16
Lodo 10%	7,63		3,23	2,36	<0,08	144	66,1	418	0,19	0,8
Lodo 20%	7,49		5,15	3,72	<0,08	276	123	626	0,19	0,62
Lodo 30%	7,45		6,71	4,77	<0,08	475	189	750	0,19	1,85
Coco 10%	6,97		0,4	0,25	<0,08	9,5	70,4	3,4	<0,17	0,26
Coco 20%	6,73		1,14	0,89	<0,08	33,3	237	14,4	<0,17	1,95
Coco 30%	5,81		0,37	0,17	<0,08	27,9	220	4,8	<0,17	0,95

*MAQS-Embrapa: Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, Embrapa 2009. Análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa (t.f.s.e.) a 40°C. Conversão de Unidades: cmolc/dm³=meq/100g; g/dm³=% X 10; % = dag Kg⁻¹. ND: Não Detectado. LQ: Limite de Quantificação do Método

2.5- PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E DE CRESCIMENTO

A fluorescência transitória da clorofila foi analisada em folhas totalmente expandidas previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos, com auxílio de um fluorímetro não modulado (OS-30P; OptiSciences Inc., Hudson, EUA). Foram adquiridos os estados transitórios da clorofila sob iluminação máxima de $3.000 \mu\text{mol (fótons)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por uma luz actínica ($\lambda=660 \text{ nm}$) por 1 segundo; a qual foi aplicada homogeneamente à folha (Dinis et al., 2016).

A cinética de fluorescência rápida, que é a passagem da fluorescência inicial (F_0) para a fluorescência máxima (F_m), foi medida pelas emissões descritas na curva OJIP, em que $O \cong F_0$ (50 μs), J (2ms), I (30ms) e $P \cong F_m$ (máxima intensidade de fluorescência); o tempo para a emissão máxima de fluorescência e a área acima da curva OJIP também foi avaliada (Chen et al., 2016; Stirbet et al., 2018; Strasser et al., 2010). As medidas foram realizadas em três mudas de cada tratamento em casa de vegetação.

As avaliações dos parâmetros de desenvolvimento das mudas foram realizadas a cada 15 dias, nas quais avaliou-se: altura (com o auxílio de uma trena foi medido do final do caule até a última folha), diâmetro do caule ao nível do solo (DNS) (com o auxílio de um paquímetro) e a contabilização do número de folhas (Figura 5).

Figura 5: Avaliações das mudas de *A. colubrina*. (a) utilização da trena para medição da altura das mudas, (b) utilização do paquímetro para medição do DNS das mudas.



2.7- ANÁLISE DE DADOS

Os dados de fluorescência foram comparados com o teste de Kruskal Wallis e foi realizado o pós-teste de Dunn ao nível de significância de 5%, no programa R (R CORE TEAM, 2023). Os dados de altura, diâmetro do caule ao nível do solo e número de folhas foram submetidos a uma análise de variância e as diferenças significativas foram comparadas com teste de Tukey ao nível de significância de 5%, a análise foi realizada no programa R (R CORE TEAM, 2023).

3.RESULTADOS

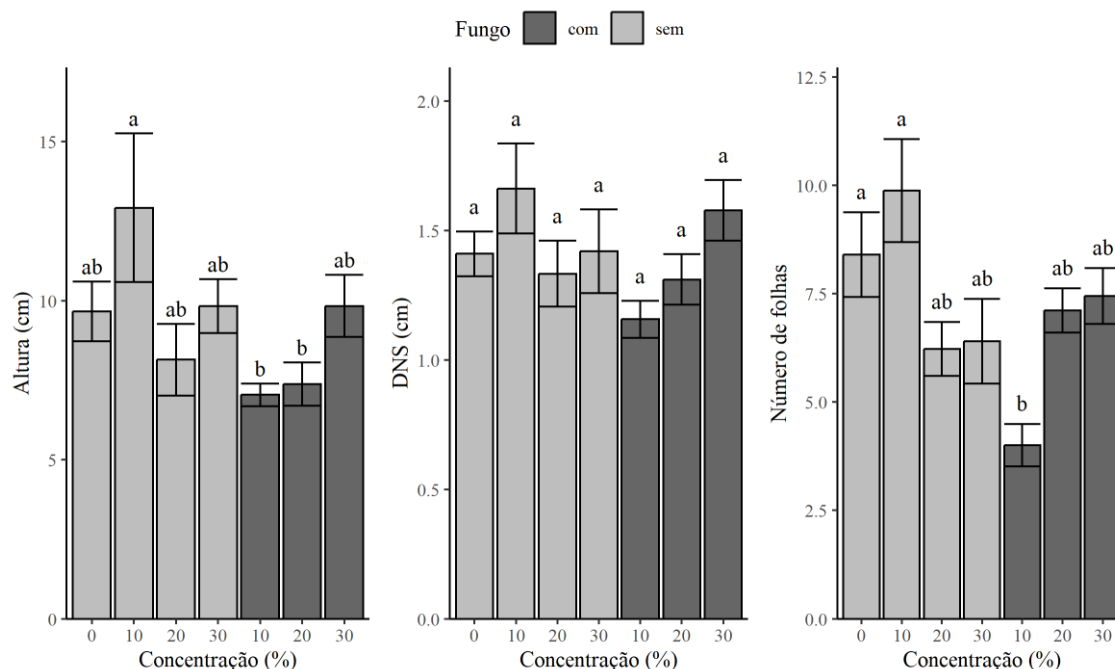
Em relação as mudas produzidas com lodo de esgoto, houve efeitos significativos em relação à interação entre as diferentes doses de lodo de esgoto e os fungos micorrízicos em todos os parâmetros testados (Tabela 3). Ao comparar o substrato biochar de lodo de esgoto em relação as diferentes doses e presença e ausência de fungos não houveram diferenças significativas na qualidade das mudas de *Anadenanthera colubrina*, exceto no tratamento com 10% de biochar com FMA, o qual reduziu significativamente o número de folhas e a altura e 20% de biochar com FMA que também reduziu a altura (Figura 6).

Tabela 3: Dados de altura, DNS e número de folhas do substrato biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação. *Conc: Concentração.

Lodo	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Altura					
Conc	3	61.0	20.32	1.725	0.1726
Fungo	1	49.7	49.72	4.219	0.0447
Conc:fungo	2	82.1	41.05	3.483	0.0376
Residuals	55	648.2	11.79		
DNS					
Concentração	3	0.278	0.0927	0.651	0.5855
Fungo	1	0.118	0.1184	0.832	0.3656
Conc:fungo	2	0.955	0.4776	3.357	0.0421
Residuals	55	7.825	0.1423		
Nº de Folhas					
Conc	3	21.0	7.01	1.140	0.34093
Fungo	1	13.0	13.00	2.114	0.15168
Conc:fungo	2	124.6	62.29	10.126	0.00018

Residuals 55 338.3 6.15

Figura 6: Gráfico correspondente à altura, DNS e número de folhas do substrato biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação.



Fonte: Autores.

No substrato pó de coco, houve efeitos significativos nas diferentes dosagens e nos fungos micorrizicos em todos os parâmetros testados (Tabela 4). Os tratamentos com pó de coco sem fungos micorrízicos reduziram significativamente a qualidade das mudas de *A. colubrina* em todos os parâmetros testados (Figura 7). Os tratamentos com FMA não influenciou o desenvolvimento das mudas ao observar altura e DNS, porém, reduziu significativamente o número de folhas na concentração 30% (Figura 7).

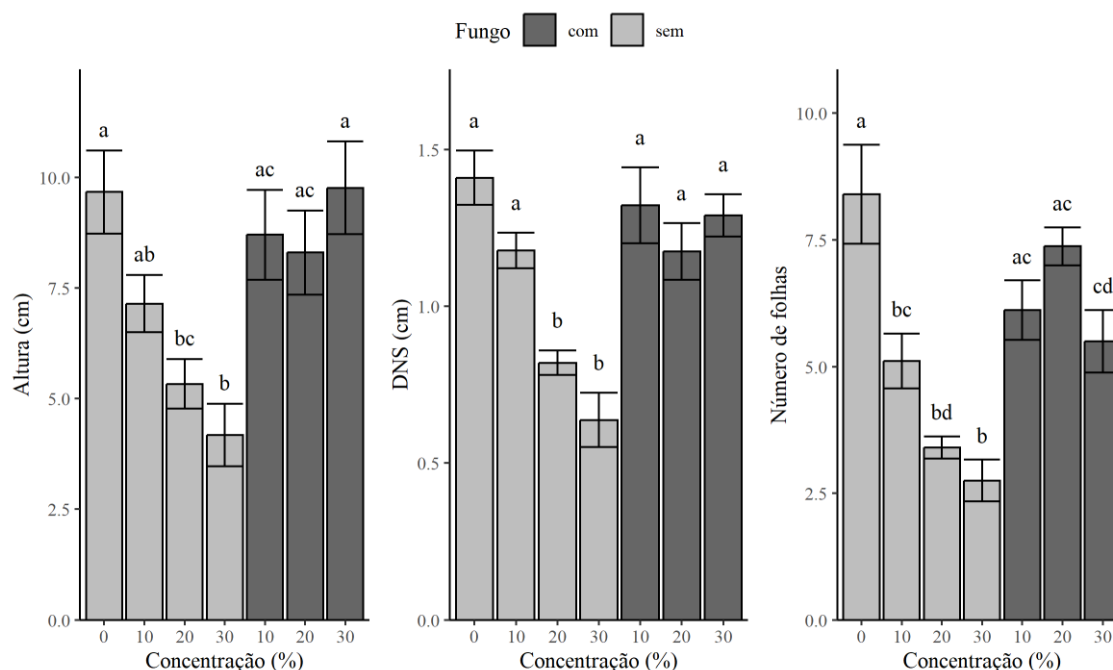
Tabela 4: Dados de altura, DNS e número de folhas do substrato pó de coco em casa de vegetação. *Conc: Concentração.

*Conc: Concentração

Coco	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Altura					
Conc	3	62.6	20.88	3.054	0.0356
Fungo	1	151.4	151.39	22.145	< 0,01
Conc:fungo	2	37.3	18.67	2.730	0.0737
Residuals	57	389.7	6.84		

DNS					
Conc	3	1.764	0.5881	9.921	< 0,001
Fungo	1	1.964	1.9639	33.130	< 0,001
Conc:fungo	2	0.582	0.2912	4.912	0.0108
Residuals	57	3.379	0.0593		
Nº de folhas					
Conc	3	113.07	37.69	11.400	< 0,001
Fungo	1	88.33	88.33	26.716	< 0,001
Conc:fungo	2	20.01	10.00	3.026	0.0564
Residuals	57	188.45	3.31		

Figura 7: Gráfico correspondente à altura, DNS e número de folhas do substrato pó de coco em casa de vegetação.



Fonte: Autores

Os resultados da fluorescência não foram significativos em nenhum dos parâmetros testados para o biochar de lodo de esgoto (Tabela 5). Ao observar os resultados da fluorescência das mudas com pó de coco, os parâmetros significativos foram TR0ABS, ET0ABS, DI0ABS, ABSRC, Piabs e ABSCS0, as quais demonstraram que o controle e o coco a 10% sem fungo como melhores tratamentos (Tabela 6).

Tabela 5: Parâmetros de OJIP da espécie *Anadenanthera colubrina* em casa de vegetação, em diferentes concentrações lodo de esgoto com e sem inoculação de fungos micorrízicos.

Lodo	TR0/ABS	ET0/ABS	DI0/ABS	ABS/RC	ET0/RC	PI ABS	TR0/RC
Controle	77,56± 0,59	51,51± 3,58	22,44± 0,59	14,18± 3,18	7,27± 1,44	74,86± 15,48	10,99±2,44
Lodo 10% sem fungo	72,7± 8,16	47,33± 6,39	27,3± 8,16	17,74± 8,31	8,05± 2,5	65,56± 24,06	12,45±4,21
Lodo 10% com fungo	54,73± 14,86	34,59± 11,69	45,27± 14,86	34,95± 12,83	11,09± 1,4	33,37± 15,23	17,87±3,14
Lodo 20% sem fungo	59,74± 5,72	38,2± 1,85	40,26± 5,72	21,48± 4,96	8,15± 1,58	50,1± 13,07	12,72±2,49
Lodo 20% com fungo	58,9± 9,62	35,87± 8,31	41,1± 9,62	23,28± 4,77	8,1± 0,8	45,6± 8,44	13,41±0,43
Lodo 30% sem fungo	72,63± 2,84	44,88± 3,97	27,37± 2,84	18,26± 6,66	8,06± 2,47	61,78± 22,51	13,16±4,41
Lodo 30% com fungo	70,25± 7,6	42,17± 4,55	29,75± 7,6	16,71± 7,56	6,82± 2,24	69,35± 25,45	11,37±3,79
p	0.5392	0.6393	0.05392	0.2772	0.5322	0.2772	0.3511
Lodo	DI0/RC	ABS/CS0	TR0/CS0	ET0/CS0	RE0/CS0	Pics	
Controle	31,84± 7,45	18,8± 2,09	14,59± 1,67	9,7± 1,42	42,27± 3,03	13,9± 1,95	
Lodo 10% sem fungo	52,93± 40,97	25,9± 10,33	18,31± 5,2	11,85± 3,1	66,11± 30,91	15,38± 2,42	
Lodo 10% com fungo	170,78± 100,42	49,3± 22,99	24,71± 6,63	15,27± 3,32	105,88± 24,91	14,2± 2,11	
Lodo 20% sem fungo	87,65± 29,62	40,5± 5	24,04± 1,79	15,41± 1,18	104,57± 17,23	19,88± 2,74	
Lodo 20% com fungo	98,75± 44,23	40,67± 12,15	23,18± 2,7	13,92± 0,56	83,85± 31,06	17,89± 1,9	
Lodo 30% sem fungo	51,08± 22,55	29,63± 2,56	21,48± 1,18	13,25± 0,66	74,98± 4	17,93± 5,07	
Lodo 30% com fungo	53,46± 37,71	27,43± 14,56	18,61± 7,77	11,13± 4,55	66,85± 35,92	16,71± 2,91	
p	0.672	0.08905	0.1773	0.4184	0.4479	0.2497	

*Médias que não apresentam letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TR0/ABS: rendimento quântico máximo da fotoquímica primária do PSII; ET0/ABS: rendimento quântico do transporte de elétrons de QA para PQ; DI0/ABS: rendimento quântico de energia dissipada na antena PSII, relacionado a processos não fotoquímicos (calor); ABS/CS0: Fluxo de fótons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada de PSII (CS) da fluorescência inicial; TR0/CS0: Fluxo máximo de elétrons energizados aprisionados pela seção transversal do PSII na fluorescência inicial; RE0/CS0: Fluxo de transporte de elétrons para aceptadores PSI por seção transversal; P_{ics}: Índice de desempenho na seção base; ET0/CS0: Fluxo de elétrons de QA- para PQ pela seção transversal de PSII na fluorescência inicial.). ABS/RC: Determinação da média dos fluxos de fótons absorvidos (ABS) do total de centros de reação do PSII (RC), também relacionado à medição do tamanho aparente da antena do PSII ; TR0/RC: O fluxo máximo de elétrons excitados aprisionados pelos centros de reação ativos no PSII; ET0/RC: Fluxo ou transporte de elétrons (ET) transferidos de QA- para PQ pela atividade dos centros de reação PSII; DI0/RC: Fluxo de energia dissipada em outros processos não fotoquímicos pelos centros de reação ativos no PSII; P_{Iabs}: Índice de desempenho na absorção de base

Tabela 6: Parâmetros de OJIP da espécie *Anadenanthera colubrina* em casa de vegetação, em diferentes concentrações de pó de coco com e sem inoculação de fungos micorrízicos.

Coco	ET0/ABS	DI0/ABS	ABS/RC	ET0/RC	PI ABS	TR0/RC
Controle	51,51±3,58 a	22,44±0,59 a	14,18±3,18 ab	7,27±1,44	74,86±15,48 ab	10,99±2,44
Coco 10% sem fungo	51,43±3,54 a	22,76±1,31 a	13,06±2,08 a	6,68±0,85	80,21±13,49 a	10,23±1,38
Coco 10% com fungo	41,27±6,71 ab	27,03±2,55 abc	17,59±4,25 abc	7,1±0,84	60,79±12,96 abc	12,79±2,83
Coco 20% sem fungo	34,84±3,23 b	30,58±2,29 b	23,5±2,08 c	8,14±0,07	44,29±3,96 c	16,3±1,22
Coco 20% com fungo	46,69±4,43 ab	24,38±0,22 abc	15,41±1,26 abc	7,23±1,21	67,16±5,84 abc	11,65±0,92
Coco 30% sem fungo	36,71±6,75 b	29,3±3,57 bc	17,81±10,3 abc	6,22±2,87	76,83±51,42 abc	12,53±6,93
Coco 30% com fungo	39,48±6,49 b	23,62±1,79 ac	18,46±0,29 bc	7,29±1,24	56±0,97bc	14,1±0,37
p	0.02973	0.01339	0.02897	0.5656	0.02897	0.1513
Coco	DI0/RC	ABS/CS0	TR0/CS0	ET0/CS0	RE0/CS0	Pics
Controle	31,84±7,45	18,8±2,09 a	14,59±1,67	9,7±1,42	42,27±3,03	13,9±1,95
Coco 10% sem fungo	28,32±7,08	23,93±0,42 bc	18,79±0,32	12,3±0,64	53,91±5,46	19,18±3,07
Coco 10% com fungo	47,94±14,87	26,63±2,45 b	19,45±2,13	10,98±2,08	46,44±9,04	16,05±2,83
Coco 20% sem fungo	72,05±10,3	19,77±5,54 abc	13,79±4,13	6,9±2,06	28,29±13,67	8,76±2,56
Coco 20% com fungo	37,6±3,37	22,97±0,87 abc	17,37±0,68	10,73±1,24	47,71±5,63	15,43±1,55
Coco 30% sem fungo	52,85±34,6	20,07±11,15 abc	14,23±7,92	7,2±4	33,29±21,8	11,61±2,71
Coco 30% com fungo	43,61±3,43	21,73±1,56 ac	16,59±1,04	8,52±0,99	37,46±4,17	12,18±1,07
p	0.07554	0.01602	0.05502	0.3702	0.1318	0.4281

*Médias que não apresentam letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TR0/ABS: rendimento quântico máximo da fotoquímica primária do PSII; ET0/ABS: rendimento quântico do transporte de elétrons de QA para PQ; DI0/ABS: rendimento quântico de energia dissipada na antena PSII, relacionado a processos não fotoquímicos (calor); ABS/CS0: Fluxo de fótons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada de PSII (CS) da fluorescência inicial; TR0/CS0: Fluxo máximo de elétrons energizados aprisionados pela seção transversal do PSII na fluorescência inicial; RE0/CS0: Fluxo de transporte de elétrons para aceptadores PSI por seção transversal; P_{ics}: Índice de desempenho na seção base; ET0/CS0: Fluxo de elétrons de QA- para PQ pela seção transversal de PSII na fluorescência inicial.). ABS/RC: Determinação da média dos fluxos de fótons absorvidos (ABS) do total de centros de reação do PSII (RC), também relacionado à medição do tamanho aparente da antena do PSII (ABS/RC); TR0/RC: O fluxo máximo de elétrons excitados aprisionados pelos centros de reação ativos no PSII; ET0/RC: Fluxo ou transporte de elétrons (ET) transferidos de QA- para PQ pela atividade dos centros de reação PSII; DI0/RC: Fluxo de energia dissipada em outros processos não fotoquímicos pelos centros de reação ativos no PSII; P_{Iabs}: Índice de desempenho na absorção de base.

4. DISCUSSÃO

A concentração eficaz de biocarvão de lodo de esgoto é variável em relação a cada espécie, por exemplo, no *Eucalyptus grandis* W., uma espécie florestal, esse percentual foi de 20- 40%; em outra espécie florestal testada, a *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, as melhores porcentagens foram de 6-8% de biochar (Gonzaga et al., 2018, Junior et al., 2023). Ainda, ao aumentar o percentual de lodo de esgoto, a espécie pode apresentar menor desenvolvimento ecofisiológico (Trigueiro; Guerrini, 2014). Os resultados diferentes podem se dar por conta de diferenças bioquímicas do substrato.

A adição de doses crescentes de lodo de esgoto ao substrato aumentou as concentrações de cálcio + magnésio, cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K) e fósforo (P). Em relação aos outros tratamentos, o biochar apresentou a maior quantidade de nitrogênio. Não houve diferença no DNS. Sendo assim, ao observar a altura e número de folhas, os resultados provavelmente podem estar associados ao excesso de sódio, o qual em excesso causa toxicidade e restrições estruturais a planta (Vian; Tiecher, 2023). O excesso de sódio também causa o desbalanceamento na absorção de alguns elementos, como, NO_3 , K e Ca, dificulta a manutenção da membrana, a quantidade de energia gasta, a osmorregulação e afeta a produção e deslocamento de hormônios, o que pode causar redução da área foliar e número de folhas, como também em todo desenvolvimento da espécie (Cosmo et al., 2023, Schossler et al., 2012). Dentre várias funções, o potássio é abundante nas espécies vegetais, auxiliando na fotossíntese e regulação de nutrientes, além disso o P e K tem função importante de enraizamento e reprodução das plantas, que pode ser melhor observada em campo ou ao analisar a biomassa da espécie (Han; White; Cheng, 2022; Sardans; Peñuelas, 2021, Marschner, 1995).

A análise química dos substratos com pó de coco apresentou altos teores de potássio, o que pode ter sido prejudicial no desenvolvimento da espécie. O potássio é o elemento responsável pelas enzimas essenciais para funcionamento das plantas, seu excesso pode inibir a absorção do nitrogênio, magnésio e ferro e proporcionar inúmeras disfunções a espécie (Sardans; Peñuelas, 2021, Johnson et al., 2022). Ao adicionar os fungos micorrízicos ao substrato com pó de coco, os indivíduos conseguiram se desenvolver melhor nos parâmetros testados.

A associação mutualística dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) com as plantas é maior em relação a necessidade do indivíduo podendo aumentar a absorção dos

nutrientes e água (Moreira; Siqueira, 2006). A associação de FMA com as raízes das plantas, destacada por Lima et al. (2020) e Moreira e Siqueira (2006), é crucial para a absorção eficiente de fósforo, especialmente em espécies arbóreas (Lopes et al., 2023). Em substratos ou solos pobres em nutrientes, as plantas fazem mais simbiose com os fungos micorrízicos utilizando-os como fonte nutricional, isso possivelmente aconteceu com o pó de coco, por isso os tratamentos com fungo obtiveram melhor desempenho (Martínez; Pugnaire, 2009). No pó de coco é notório a relação da proporção carbono e nitrogênio (C: N), visto que existe mais carbono do que nitrogênio na análise química, o que provavelmente facilitou a simbiose dos fungos micorrízicos com a espécie e permitiu aumento nutricional, auxiliando no desenvolvimento das mudas.

A proporção entre altura e DNS é de extrema importância na produção de mudas (Heberle; Jesus; Malavasi, 2014). Esses parâmetros no pó de coco foram destaque, em principal na concentração de 30% de coco com fungo, como também no controle. Ao observar o lodo de esgoto, no DNS não houve diferenças significativas, o fato que pode ter implicado é o tempo, o qual pode não ter sido suficiente para ser expressado no diâmetro das mudas.

Os parâmetros de fluorescência medem a capacidade fotossintética e concentração de clorofila da espécie, sendo importante pra entender a obtenção de nutrientes necessários para sobrevivência. Em relação a fluorescência a qual obteve diferença significativa apenas no pó de coco, é possível que a espécie tenha investido no crescimento e não em lançar folhas, ou outra hipótese é que tenha investido em crescer menos e ter folhas melhores, por isso os indivíduos submetidos a 10% sem fungo foram melhores na fluorescência, porém piores ao observar altura, número de folhas e DNS. Além disso, devido a interação mutualística existente entre os FMA e as plantas, os FMA também captam os nutrientes presente nelas, isso pode explicar os tratamentos sem fungos obterem maior eficiência na fluorescência (Leonídio, 2022).

Esse trabalho deve ser levado adiante com o implemento em campo para observar qual o desenvolvimento da espécie com as concentrações sugeridas, como também avaliação de biomassa da parte aérea e raiz da espécie. Ainda, esse trabalho deve ser testado em dosagens menores de 1, 5 e 8% de biocarvão e de pó de coco, por exemplo, para observar se a espécie conseguiria se desenvolver bem. O trabalho foi promissor visto que é uma maneira de diminuir os resíduos sólidos do ambiente, em principal esses que ocupam muito espaço em aterros sanitários, contribuindo com o bem estar da sociedade,

além de ser uma forma vantajosa de baratear os custos da restauração ecológica de ambientes degradados.

5. CONCLUSÃO

- No biochar, houve interação entre concentração e FMA;
- Ao observar os parâmetros (DNS, altura e número de folhas) não houveram diferenças significativas, porém 10% de biochar com FMA reduziu o número de folhas e 10 e 20% de biochar com FMA reduziram a altura da espécie;
- No pó de coco houve efeitos significativos na concentração e presença e ausência de fungos;
- Ao analisar os parâmetros (DNS, altura e número de folhas) o pó de coco com FMA não houveram diferenças significativas, porém ocorreu redução do número de folhas em 30%, nos tratamentos sem FMA houve redução em todos os parâmetros testados;
- Nos parâmetros de fluorescência, não houve efeito significativo para o biochar de lodo de esgoto, apenas para o pó de coco.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIMA, R. L. F. A. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 03, p. 1062-1079, 2020.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BATISTA, N. S. Diversificação de cultivos de hortaliças associada ao uso de insumos para a fertilidade do solo, em sistema orgânico de produção. Dissertação de mestrado - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. 2016.

BRAGHIROLI, F. L., SGROTT, A. F., PESCADOR, R., UHLMANN, A., STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de florestas ciliares e fixação de carbono no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 733-744, 2012.

CANTARELLI, E. B., ZANATTA, T. P., FONTANA, D., BREZOLIN, P., TRENTIN, C., DELLA FLORA, D., & WERNER, C. J. Desenvolvimento inicial de mudas de

Tabebuia impetiginosa submetidas a diferentes tipos de substratos. Silvicultura e manejo florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza-volume 1, v. 1, n. 1, p. 146-155, 2021.

CARLOS, L. K. C., DIODATO, M. A., CASTRO, V. G. Durabilidade natural de cinco espécies madeireiras da Caatinga em ensaio de deterioração em campo aberto e natural. *Advances in Forestry Science*, v. 8, n. 3, p. 1527-1534, 2021.

CHEN, S., YANG, J., ZHANG, M., STRASSER, R.J., QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. *Environmental and Experimental Botany*. v. 122, p. 126-140, 2016.

COSMO, B. M. N., ROSA, W. B., DANILUSSI, M. T. Y., ZANETTI, W. A. L. Influência dos metais na fotossíntese. *Revista Agronomia Brasileira*, v. 7, p. 1-10, 2023.

DELICES, M.; MULLER, J.A.I.; ARUNACHALAM, K.; MARTINS, D.T.O. *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan: Ethnobotanical, phytochemical, pharmacological and toxicological aspects. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 300, p. 1-17, 2022.

DINIS, L.T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GERÓS, H.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *J. Plant Physiol*, v. 191, p. 45–53, 2016.

ELKHALIFA, S.; ALANSARIA, T.; MACKEY, H. R; MACKAY, G. Food waste to biochar through pyrolysis: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, v.144, p. 310-320, 2019.

FERNANDES, M. M., SILVA, A. J., OLIVEIRA, C. M., OLIVEIRA, D. D. S., SANTOS, C., ARAÚJO FILHO, R. N., GOMES FILHO, R. R., FERNANDES, M. R. D. M. Initial growth and ecophysiological aspects of forest legumes inoculated with mycorrhizal fungi in areas degraded by mining. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 3, p. 1-16, 2023.

Flora e Funga do Brasil, 2023. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC.do?lingua=pt> . Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

GONZAGA, M. I. S., MACKOWIAK, C., ALMEIDA, A. Q. D., CARVALHO JÚNIOR, J. I. T. D. Biocarvão de lodo de esgoto e seu efeito no crescimento e nas características morfológicas de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). Ciência Florestal, v. 28, p. 687-695, 2018.

HAN, Y., WHITE, P. J., CHENG, L. Mechanisms for improving phosphorus utilization efficiency in plants. Annals of botany, v. 129, n. 3, p. 247-258, 2022.

HEBERLE, K., JESUS, A. M., MALAVASI, U. C. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e arquitetura radicular de mudas de *Tabebuia chrysotricha* submetidas à irrigação subsuperficial comparada à aspersão em diferentes regimes hídricos. Revista Cultivando o Saber, v. 7, n. 3, p. 81-89, 2014.

IBI. Biochar for Environmental Management. Disponível em: <https://biochar-international.org/book/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2024.

JOHNSON, R. et al. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, v. 172, p. 56-69, 2022.

JUNIOR, O. B. C., SANDRI, D., LISBOA, I. P. J., DIAS, L. V. S., CLARA, J. M. P., FIGUEIREDO, C. C. Qualidade das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong sob diferentes dosagens de biochar e hidrogel. Contribuciones a las ciencias sociales, v. 16, n. 6, p. 4862-4880, 2023.

LEONÍDIO, R. L. Fungos micorrízicos em solo do cerrado cultivado com soja sob déficit hídrico e resíduo agroindustrial. Tese de Doutorado. Instituto Federal de Educação. 2022.

LOPES, R. K. S. Crescimento inicial de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) inoculadas com *Rhizophagus intraradices* e suprimento de fósforo. TCC-Universidade Federal Rural da Amazônia. 51 p., 2023.

MAPBIOMAS. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. Academic. London. 1995. 889 pp.

MARTÍNEZ, L. B.; PUGNAIRE, F. I. Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*, v. 18, n. 2, p. 44-54, 2009.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. Ed. Lavras: UFLA. 2006. 774 pp.

MAGALHÃES, P. S. C., TEIXEIRA, M. D. C. S. A., DE ARAÚJO MENDES, M. R., LEMOS, J. R., RODRIGUES, B. J. S. Morfometria de frutos e sementes e métodos para superação da dormência de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae). *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, p. e6010313034-e6010313034, 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. Declaração Universal dos Direitos Humanos da ONU. Disponível em: <<http://www.onu-brasil.org.br/>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M., REIS, L. L., MARQUES, S. S. Sistemas de plantio adensado para a revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de custo-benefício com o sistema tradicional. *Floresta e Ambiente*, v. 4, p. 30-41, 1997.

PRISA, D., CARO, S. Alternative substrates in the cultivation of ornamental and vegetable plants. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, v. 24, n. 1, p. 209-220, 2023

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.

REZENDE, F. A., SANTOS, V. A. H. F. D., MAIA, C. M. B. D. F., MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.1449-1456, 2016.

RODRIGUES, A. C. D. C., OSUNA, J. T. A., QUEIROZ, S. R. D. O., RIOS, A. P. S. Efeito do substrato e luminosidade na germinação de *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae, Mimosoideae). *Revista Árvore*, v. 31, p. 187-193, 2007.

SANTOS, A. M. M., SILVA, M. A. O., SÁ, D. A., NEVES, L. P. F., GOUVEIA, F. N., COSTA, K. D. S. Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate e

berinjela. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 16, n. 2, p. 206-212, 2021

SARDANS, J., PEÑUELAS, J. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, v. 10, n. 2, p. 419, 2021.

SCHOSSLER, T. R., MACHADO, D., ZUFFO, A. M., ANDRADE, F., PIAUILINO, A. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Enciclopédia biosfera*, v. 8, n. 15, 2012.

SILVA, A. C. Reaproveitamento da casca de coco verde. *Revista Monografias Ambientais*, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, 2014.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: < <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros> >. Acesso em: 03 de janeiro de 2024.

SOARES, S. M. P. (2010). Técnicas de restauração de áreas degradadas. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora.

STIRBET, A., LAZÁR, D., KROMDIJK, J., GOVINDJEE. Chlorophyll a fluorescence induction: can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? *Photosynthetica*, v. 56, p. 86–104, 2018.

STRASSER, R. J., TSIMILLI-MICHAEL, M., QIANG, S., GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820 nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochim. Biophys. Acta Bioenerg.* v. 1797, p. 1313–1326, 2010

TRIGUEIRO, R. D. M., GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. *Revista Árvore*, v. 38, p. 657-665, 2014.

VIAN, A. L., TIECHER, T. Magnésio: um macronutriente importante. *Boletim Agrônômico*, n. 5, p. 1-18, 2023.

XU, X., KAN, Y., ZHAO, L., CAO, X. Chemical transformation of CO₂ during its capture by waste biomass derived biochars. *Environmental pollution*, v.213, p. 533-540, 2016.

ZHANG, J., FU, B., STAFFORD-SMITH, M., WANG, S., ZHAO, W. Improve forest restoration initiatives to meet Sustainable Development Goal 15. *Nature Ecology & Evolution*, v.5, n. 1, p. 10-13, 2021.