

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**ZONEAMENTO PEDOCLIMÁTICO PARA O EUCALYPTUS
NA BAHIA E EFEITO DO USO DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE
ARGISSOLO**

Thiago da Conceição Martins

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
ABRIL – 2023**

ZONEAMENTO PEDOCLIMÁTICO PARA O EUCALYPTUS NA BAHIA E EFEITO DO USO DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE ARGISSOLO

Thiago da Conceição Martins
Bacharel em Engenharia Florestal, UFRB, 2021

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical).

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Coorientador: Prof. Dr. Everton Luis Poelking

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
ABRIL – 2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

M386z	<p>Martins, Thiago da Conceição. Zoneamento pedoclimático para o eucalyptus na Bahia e efeito do uso do solo em sistemas agroflorestais nos atributos físicos de Argissolo / Thiago da Conceição Martins._ Cruz das Almas, BA, 2023. 66f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega. Coorientador: Prof. Dr. Everton Luis Poelking.</p> <p>1.Sistemas silviculturais – Florestas – Eucalipto. 2.Mecânica do solo – Físico-química – Climatologia agrícola. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 635.23</p>
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

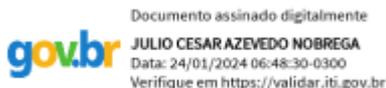
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**ZONEAMENTO PEDOCLIMÁTICO PARA O EUCALYPTUS NA BAHIA E
EFEITO DO USO DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS
ATRIBUTOS FÍSICOS DE ARGISSOLO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de

Thiago da Conceição Martins

Aprovada em 28 de abril de 2023



Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Orientador

Prof. Dr. José Maria de Lima
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Interno

Prof. Dr. João Carlos Medeiros
Universidade Federal Sul da Bahia - UFSB
Examinador externo

Prof. Dr. Sammy Sidney Rocha Matias
Universidade Estadual do Piauí - UEPI
Examinador externo

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por ter me proporcionado sabedoria, perseverança e por não ter deixado em momento algum me faltar forças para concluir mais uma etapa de minha vida, a Nossa Senhora que sempre me guiou mostrando os melhores caminhos para chegar ao final da caminhada.

À minha família, meus pais, meus irmãos que foram importantíssimos nesse processo, sempre estiveram ao meu lado, obrigado pelo apoio de sempre.

À minha esposa e minha filha, por ser suporte, por sempre me encorajar, por ser o pilar da minha construção tanto profissional quanto pessoal, vocês foram e são minha motivação diária para continuar caminhando, não seria nada fácil sem o apoio de vocês.

Aos amigos que me ajudaram nessa jornada do Mestrado, de forma especial, Luana e Sândila, que me apoiaram, foram parceiros nessa caminhada e fizeram parte dessa trajetória.

Ao meu orientador Júlio César Azevedo Nobrega, pela orientação com paciência, resiliência e dedicação em seus ensinamentos transmitidos, pela oportunidade em realizar esse trabalho, foi um orientador que ajudou muito com meu desenvolvimento.

Ao meu coorientador Everton Poelking, que não se restringiu apenas um orientador na graduação e no mestrado mas também fortaleceu ainda mais a nossa parceria, sempre esteve junto ajudando, apoiando, ensinando, se preocupando e buscando sempre o melhor para mim.

E a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização e desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!

Que Deus abençoe todos vocês!

EPÍGRAFE

“É justo que muito custe o que muito vale.”

Santa Teresa d'Ávila

ZONEAMENTO PEDOCLIMÁTICO PARA O EUCALYPTUS NA BAHIA E EFEITO DO USO DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE ARGISSOLO

RESUMO GERAL

O zoneamento pedoclimático é uma aplicação dentro do geoprocessamento que leva em consideração o clima, temperatura, precipitação e outros fatores, para identificar as áreas mais favoráveis ao cultivo de determinadas espécies. A Bahia possui uma diversificada cadeia produtiva, com extensas áreas de plantio dedicadas ao setor florestal. No entanto, mesmo sob plantios florestais, o sistema conservacionista é o mais indicado aos modelos de produção, com isso, a caracterização dos atributos do solo em áreas sob cultivo de espécies florestais em sistemas de cultivos isolados e consorciados, a exemplo dos sistemas agroflorestais (SAFs) tem sido pouco estudado, embora venham recebendo maior atenção nos últimos anos. Desta forma, o capítulo 1 deste trabalho teve como objetivo realizar o zoneamento pedoclimático para as espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* no estado da Bahia, visando identificar as regiões como apta, restrita e inapta. O capítulo 2 teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo de culturas do *Theobroma cacao* (cacau), *Syzygium aromaticum* (cravo-da-índia) e *Hevea brasiliensis* (seringueira), em cultivos isolados ou consorciados, sobre a qualidade física de um Argissolo Amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. Para o estudo de zoneamento, os dados de clima e solo foram compilados para classificar as regiões que possuem somatório de características favoráveis às espécies de eucalipto e pelo cruzamento do zoneamento pedoclimático foram suprimidas as regiões com restrições ao desenvolvimento das espécies de eucalipto, conforme suas exigências ambientais como, precipitação média anual mínima e condições de solo restritas ao desenvolvimento das plantas de eucalipto. Para o capítulo 2, a área de estudo está localizada na região de Camamu-BA, onde foram selecionadas cinco áreas, com diferentes usos e manejos do solo: cravo da Índia + cacau, duas áreas de seringueira + cacau, com diferentes anos de plantio, seringueira e Mata Nativa. As coletas de solos foram realizadas em cada sistema nas profundidades de 0-0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m. Os resultados obtidos para o estudo de zoneamento mostraram grandes áreas com potencial para o cultivo das espécies de *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* a partir da utilização das áreas subutilizadas ou de pastagens degradadas. As áreas mais aptas para cultivo foram para a espécie *C. citriodora* (114.000 km²), seguida pelo *E. grandis* com área apta em torno de 106.000 km² e o *E. urophylla* com a menor área apta para o cultivo ao longo do território da Bahia (43.000 km²). No estudo sobre o efeito do cultivo de culturas de cacau, cravo e seringueira foi verificado que apesar do solo ter sofrido alterações pela ação dos cultivos, os mesmos não causaram impactos para além do nível crítico em termos de densidade do solo e porosidade total de forma a comprometer a qualidade física do solo, no entanto, os agregados menores que 1,0 mm mostraram se em maior quantidade nas áreas sob cultivo com cacau + cravo e seringueira nova + cacau, em todas as profundidades estudadas.

Palavras-chave: Geotecnologias, Silvicultura, Manejo florestal, sistemas de cultivos, propriedades físicas do solo.

PEDOCLIMATIC ZONING FOR EUCALYPTUS SPECIES AND EFFECT OF FOREST SPECIES CULTIVATION ON PHYSICAL ATTRIBUTES OF ARGISSOLO IN BAHIA STATE, BRAZIL

GENERAL ABSTRACT

Pedoclimatic zoning is an application within geoprocessing that takes into account climate, temperature, rainfall and other factors to identify the most favorable areas for growing certain species. Bahia has a diversified production chain, with extensive plantation areas dedicated to the forestry sector. However, even under forest plantations, the conservationist system is the most suitable for production models, so the characterization of soil attributes in areas under cultivation of forest species in isolated and intercropped cropping systems is essential, such as agroforestry systems (SAFs) have been little studied, although they have been receiving more attention in recent years. Chapter 1 of this work therefore aimed to carry out pedoclimatic zoning for the species *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* in the state of Bahia, with the aim of identifying the regions as suitable, restricted, and unsuitable. The aim of Chapter 2 was to evaluate the effect of growing *Theobroma cacao* (cocoa), *Syzygium aromaticum* (cloves) and *Hevea brasiliensis* (rubber), in isolated or intercropped plantations, on the physical quality of a Yellow Argissolo in the Tabuleiros Costeiros region of Bahia. For the zoning study, climate and soil data were compiled to classify the regions that have the sum of favorable characteristics for eucalyptus species and, by cross-referencing the pedoclimatic zoning, the regions with restrictions on the development of eucalyptus species were removed, according to their environmental requirements, such as minimum average annual rainfall and soil conditions restricted to the development of eucalyptus plants. For Chapter 2, the study area is located in the region of Camamu-BA, where five areas were selected, with different land uses and managements: clove + cocoa, two areas of rubber tree + cocoa, with different years of planting, rubber tree and native forest. Soils were collected from each system at depths of 0-0.10, 0.10 - 0.20 and 0.20 - 0.40 m. The results obtained for the zoning study showed large areas with potential for growing *C. citriodora*, *E. grandis* and *E. urophylla* species by using underused areas or degraded pastures. The most suitable areas for cultivation were for the species *C. Citriodora* 114,000 km², followed by *E. grandis* with a suitable area of around 106,000 km² and *E. urophylla* with the smallest area suitable for cultivation throughout Bahia 43,000 km². In the study on the effect of growing cocoa, clove and rubber trees, it was found that although the soil had changed as a result of the crops, they did not cause impacts beyond the critical level in terms of soil density and total porosity in such a way as to compromise the physical quality of the soil, However, aggregates smaller than 1.0 mm were more abundant in the areas under cocoa + clove and new rubber + cocoa cultivation, at all depths studied.

Keywords: Geotechnologies, forestry, forest management, cropping systems, soil physical properties.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Exigências climáticas das espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*.....30

Tabela 2 – Classes de aptidão natural do solo para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*.....30

Tabela 3 – Exigências climáticas das espécies para implantação do povoamento florestal..... 31

Tabela 4 – Zoneamento pedoclimático para o plantio de *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* no estado da Bahia.....33

Tabela 5 – Predominância dos tipos de solos no estado da Bahia.....34

Tabela 6 – Área de pastagem dentro das classes aptas dos zoneamentos das espécies.....39

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Classificação textural e avaliação comparativa de médias de areia, silte, argila, em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.....49

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para densidade do solo, porosidade total, distribuição do tamanho dos agregados e diâmetro médio ponderado dos agregados em cultivos perenes de cacau, cravo, seringueira e Mata Atlântica sob Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia.....53

Tabela 3 – Avaliação comparativa de médias da resistência do solo à penetração (RP) em cultivos perenes de cacau, seringueira e cravo em Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia..... 56

Tabela 4 – Valores de umidade gravimétrica (%) do solo em três profundidades em cultivos perenes de cacau, seringueira e cravo em Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia..... 56

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** – Mapa de localização, mesorregiões do estado da Bahia, Brasil.....27
- Figura 2** – Mapa da classificação Köppen, para o estado da Bahia, Brasil.....28
- Figura 3** – Etapas metodológicas para elaboração do zoneamento pedoclimático para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*.....29
- Figura 4** – Mapa do zoneamento edáfico para as espécies de eucalipto no estado da Bahia, Brasil.....33
- Figura 5** – Mapa do zoneamento pedoclimático para a espécie *E. grandis* no estado da Bahia, Brasil.....35
- Figura 6** – Mapa do zoneamento pedoclimático para a espécie *C. citriodora* no estado da Bahia, Brasil.....36
- Figura 7** – Mapa do zoneamento pedoclimático para a espécie *E. urophylla* no estado da Bahia, Brasil.....37

CAPÍTULO 2

- Figura 1** – Mapa de localização da Fazenda Dada por Deus, Camamu-Bahia, Brasil.....49
- Figura 2** – Coleta de amostras de deformadas de solos nos diferentes sistemas de uso e manejo em Argissolo Amarelo do Sul da Bahia.....50
- Figura 3** – Coleta de amostras de indeformadas de solos nos diferentes sistemas de uso e manejo em Argissolo Amarelo do Sul da Bahia.....51
- Figura 4** – Avaliação comparativa de médias: 4a densidade do solo (D_s g cm^{-3}) e 4b porosidade total (POT $m^3 m^{-3}$), em cultivos perenes de cacau, seringueira e cravo em Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia.....54
- Figura 5** – Avaliação comparativa de médias da resistência à penetração do solo (MPa) em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.....57
- Figura 6** – Avaliação comparativa de médias de classes de agregados entre 4,76 - 2,00 mm em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.....58
- Figura 7** – Avaliação comparativa de médias de classes de agregados: 2,00 – 1,00

mm; 1,00 – 0,50 mm; 0,50 – 0,25 mm e 0,25-0,105 mm em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.....59

Figura 8 – Avaliação comparativa de médias do diâmetro médio ponderado de agregado (DMP; mm), em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.....60

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO GERAL	13
2.0	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Zoneamento pedoclimático: importância e aplicação	15
2.2	Sistemas de uso e qualidade física do solo	16
3.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
	CAPÍTULO 1 – Zoneamento pedoclimático para Eucalyptus no estado da Bahia.....	22
	RESUMO	23
	ABSTRACT	24
1.0	INTRODUÇÃO.....	25
2.0	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.0	CONCLUSÕES.....	40
5.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
	CAPÍTULO 2 – Caracterização física do solo sob cultivos de cacau, cravo-da-índia e seringueira	44
	RESUMO	45
	ABSTRACT.....	46
1.0	INTRODUÇÃO.....	47
2.0	MATERIAL E MÉTODOS	48
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.0	CONCLUSÕES.....	61
5.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A silvicultura é uma importante e significativa atividade econômica no estado da Bahia, que apresenta extensas áreas disponíveis para o cultivo de diferentes espécies florestais, incluindo o gênero *Eucalyptus*, na cadeia de produção do setor florestal. Em 2020, a Bahia produziu cerca de 3,21 milhões de toneladas de celulose branqueada e celulose solúvel/especial, ou seja, 15% da produção brasileira de celulose. Outro destaque importante é na produção de ferroligas; estima-se que a Bahia produziu 45% do total nacional, cerca de 296,4 mil toneladas (ABAF, 2021).

O gênero *Eucalyptus*, desde que foi implantado no Brasil, gerou muitos e importantes estudos, tornando-se referência nos programas de melhoramento genético, por apresentar algumas vantagens, como rápido crescimento, ampla adaptação ambiental e múltiplos usos da madeira (TOLFO et al., 2005). Devido seu crescimento rápido e fuste retilíneo, sua madeira é utilizada pela indústria em múltiplos usos, como celulose, carvão, serraria, energia, laminados e outras diversas utilidades (SILVA; XAVIER, 2006).

Neste contexto, o zoneamento pedoclimático para determinada espécie, é uma ferramenta importante para auxiliar no desenvolvimento de povoamentos florestais, por permitir identificar áreas mais adequadas para o cultivo, maximizando o potencial na produção da silvicultura da região. As zonas de aptidão agrícola podem ser estabelecidas com base em um modelo no qual adicione um grande conjunto de informações (FLORES et al., 2011), sendo ferramenta necessária para analisar cenários alternativos de ordenamento florestal.

O zoneamento requer conhecimento das condições de solo, além de clima. As análises dos atributos físicos do solo são procedimentos que auxiliam na tomada de decisão, em especial com a finalidade de verificar ações no manejo, na recuperação de áreas em degradação e na melhoria e manutenção da qualidade do solo. Neste sentido, pesquisas estão sendo desenvolvidas com a finalidade de analisar estruturas de variabilidade espacial dos atributos do solo, no qual estão sendo utilizada para classificar zonas homogêneas, conseqüentemente possibilitando um manejo mais correto e sustentável (CARVALHO et al., 2010).

O solo é agente ativo e passivo nas inter-relações dos componentes do ambiente, por fornecer os recursos essenciais à vida, como nutrientes, água, gases

e calor (CONCEIÇÃO et al., 2014). Desta forma, o uso e manejo do solo, principalmente, os sistemas convencionais de preparo intensivo, acabam modificando os atributos físicos, juntamente com os teores de matéria orgânica, mais sensíveis às modificações. Os sistemas agroflorestais – SAF's estão entre as formas mais antigas de utilização do solo, considerados também como práticas para a recuperação e conservação das áreas nos arredores de reservas ambientais, participando na melhoria das funções que mantêm a sustentabilidade do agroecossistema (SILVA et al., 2012).

O objetivo do estudo para o capítulo 1 foi realizar o zoneamento pedoclimático para as espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* no estado da Bahia, categorizando em áreas apta, restrita e inapta para dessas espécies, enquanto para o capítulo 2 foi avaliar o efeito do cultivo de culturas de *Theobroma cacao* (cacau), *Syzygium aromaticum* (cravo-da-índia) e *Hevea brasiliensis* (seringueira) em cultivos isolados ou consorciados sobre a qualidade física do solo da região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Zoneamento pedoclimático: importância e aplicação

O zoneamento pedoclimático, cada vez mais inserido no geoprocessamento, possibilita análises e manipulação de dados geográficos, por meio de mapas de solos, mapas temáticos e imagens de satélite, para fornecer informações para serem usadas nas tomadas de decisão sobre qual espécie plantar e quais as ações de manejo mais adequadas à maior produtividade. Assim, o zoneamento pedoclimático leva em consideração os cenários do clima local, de acordo com a temperatura, precipitação, umidade, radiação solar e outros fatores, com intuito de identificar as áreas mais favoráveis ao cultivo de determinadas espécies vegetais.

Ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) servem como um meio para identificar áreas com potencial econômico para cultivo florestal. Tecnologias que delimitam o zoneamento incluem diferentes tipos de informações compiladas em apenas um banco de dados. Com isso, é possível selecionar qual área é mais adaptada para o plantio e descartar a de menor adaptabilidade (FACCO et al., 2012; FRANCELENO et al., 2012; MORAES et al., 2014; MENEZES et al., 2015).

O planejamento para uso e ocupação do solo leva em conta informações detalhadas dos recursos não somente de dados pedológicos, mas também do clima, com o objetivo de proporcionar a conservação das áreas frágeis, além do manejo correto das áreas com maior potencial de aptidão para uso agropecuário. Neste sentido, o zoneamento pedoclimático é uma ferramenta de gestão territorial inteligente, que facilita auxiliando no processo de crescimento da região (AMARAL et al., 2016).

Para o zoneamento pedoclimático é preciso conhecer o melhor desenvolvimento da cultura na região de estudo, para o crescimento sustentável da cultura, determinar melhores épocas de plantio e reduzir perdas em virtude das adversidades climáticas que podem prejudicar a produção agrônômica (BARDALES et al., 2013).

De acordo com Silva et al. (2013), a aptidão pedológica resume-se às áreas com maior potencial e as mais limitadas, com características intrínsecas dos solos para o desenvolvimento das culturas de maneira sustentável, correlacionando parâmetros e atributos de cada classe de solo. A preparação e disponibilização do

zoneamento pedoclimático por meio de mapas de aptidão de solos e clima oferecem importantes ferramentas para recomendações práticas, lógicas e coerentes, com a finalidade de serem utilizadas para alocação dos cultivos, prevenção e controle de pragas e doenças e suporte para planejamento de políticas públicas no âmbito agrícola (SILVA et al., 2013).

O zoneamento pedoclimático pode ser utilizado em inúmeras áreas, tais como agricultura, silvicultura e planejamento urbano. Na silvicultura, por exemplo, é usado com a finalidade de indicar as espécies arbóreas mais adaptadas, respeitando as exigências de solo e clima. Conforme a pesquisa realizada por Ramalho et al. (2022), o zoneamento edafoclimático permitiu estabelecer áreas mais produtivas e com melhores condições de solo e clima para o plantio de espécies de *Eucalyptus* no estado do Espírito Santo. Os autores concluíram que tal tecnologia permitiu atender as exigências apresentadas diferenciando as áreas aptas e inaptas para *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. grandis* X *E. urophylla* e *Corymbia citriodora*.

Na área da agricultura, a metodologia foi utilizada por Francisco et al. (2017) para agrupar e mapear dados pedológicos e climáticos para a cultura da mamona no estado da Paraíba, evidenciando a potencialidade da ferramenta na identificação dos ambientes potencialmente aptos para utilização agrícola, com planejamentos e atribuição inteligente dos fatores de produção, fornecendo informações para a inclusão de áreas não tradicionais para a cultura da mamona.

Observa-se no âmbito das pesquisas de otimização do setor agrícola e florestal, que a introdução de novas tecnologias possibilitam ganhos na aquisição de dados e da qualidade do monitoramento do espaço, não apenas no âmbito temporal, mas também no espacial. Desta maneira, as técnicas de geotecnologias proporcionam o acompanhamento mais eficaz das alterações na superfície terra (DIVINO; Z Aidan; Affonso, 2009).

2.2 Sistemas de uso e qualidade física do solo

Definir bem os sistemas de uso e manejo é fundamental para a conservação do solo e produtividade sustentável na agricultura. Sendo assim, é de grande importância realizar práticas de manejo que preservem a qualidade física e hídrica do solo, com a finalidade assegurar capacidade de suporte à manutenção da vegetação e de produtividade ao longo do tempo. Pesquisas para avaliar a

qualidade física dos solos, têm avançado cada vez mais com a finalidade de analisar a variabilidade de seus atributos, de forma a indicar o manejo mais adequado ao solo, e maior aptidão produtiva das culturas (DIAS et al., 2017).

A qualidade física do solo está relacionada não somente estrutura do solo, mas também com capacidade de reter água e nutrientes. À vista disso, o manejo impróprio pode tornar o solo compactado, além de gerar perda de matéria orgânica e aumentar a erosão. A análise dos impactos dos sistemas de manejo do solo é feita tendo como base áreas de mata nativa preservada como testemunha ou referência, em razão da mínima perturbação resultante da ação humana. Além disso, os sistemas agroecológicos que utilizam práticas de metodologias conservacionistas, ou seja, preparo mínimo do solo, tal como variedade de plantas, que ajudam à manutenção da qualidade da característica do solo são primordiais (PORTUGAL et al., 2010) em estudos de qualidade do solo.

No geral, as atividades de manejo do solo modificam os atributos diretamente relacionados à retenção de água, como por exemplo, estrutura, porosidade, densidade, agregação, além de afetar a disponibilidade de nutrientes, alterando a dinâmica da água e dos nutrientes ao longo do perfil (SILVA et al., 2016), interferindo diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (ANGHINONI et al., 2017).

Os fluxos de ar e água, da mesma forma, são atributos importantes do solo a serem obtidos em estudos de qualidade do solo pois encontram-se diretamente ligados à densidade do solo (TIAN et al., 2018). A densidade do solo é um indicador do estágio de compactação do solo que é resultante de processos como pisoteio de animais, passadas de máquinas pesadas e implementos agrícolas e florestais ou ainda consequência de manejo inadequado do solo por meio do uso sucessivos de cultivos intensivos (SILVA et al., 2015). Além disso, a combinação entre aumento da densidade e da redução do espaço poroso tem potencial de evidenciar a utilização inapropriada do solo, quase sempre de acordo com revolvimento excessivo do solo e utilização de práticas pouco conservacionistas (COLOMBO et al., 2017).

Neste sentido, é de fundamental importância a caracterização dos atributos do solo nos agroecossistemas, por meio dos diferentes usos e práticas de manejo do solo. Com isso, é possível planejar as práticas sustentáveis e adequadas com a capacidade produtiva do solo, que possibilitem a utilização das terras para

atividades agrícolas de uma maneira que tenha o menor impacto ambiental, fazendo com que o solo desempenhe adequadamente as suas funções (FREITAS et al., 2017; ARRUDA et al., 2018).

3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAF. **Bahia Florestal 2021**. Curitiba-PR. STCP Engenharia de Projetos Ltda. 2021.

AMARAL, E. F.; BARDALES, N. G.; NEGREIROS, J. R. S.; ARAÚJO, E. A. **Zoneamento pedoclimático da Pimenta-longa (*Piper hispidinervum*) e Pimenta-de-macaco (*Piper aduncum*) no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2016. 44 p.

ANGHINONI, G.; TORMENA, C.A.; LAL, R.; MOREIRA, W.H.; BETIOLI, E.; FERREIRA C.J.B. Within cropping season changes in soil physical properties under no-till in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.166, n.1, p.108–112, 2017.

ARRUDA, L. E. V.; PORTELA, J. C.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, R. O.; MELO, S. B.; SOUZA, C. M. M.; LOPES, T. C. S.; MENDES, K. R. Chemical Attributes of an Oxisol Under Different Agricultural Uses in the Brazilian Semiarid Region. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.501, 2018.

BARDALES, N. G.; PEREIRA, J. B. M.; DUARTE, A. F.; ARAÚJO, E. A. de; OLIVEIRA, T. K.; LANI, J. L. Zoneamento agroclimático para cultivo da cana-de-açúcar em três municípios da regional do Baixo Acre, Estado do Acre, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., Florianópolis. Ciência do Solo: para que e para quem? **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1-4.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**, v.7, n.2, p.63-79, 2010.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. O. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Revista Campo Digital**, v.12, n.1,

p. 21-29, 2017.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIEKOW, J; SANTOS, D. C. D. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p. 794-800., 2014.

DIAS, F.P.M.; CASTRO, J.R.; DE JESUS NUNES, F.; NONATO, A.C.R.; JÚNIOR, F.B.; FÉ, J.A.R.; SANTOS, D.N.; NÓBREGA, J.C.A. Eficiência de Malhas Amostrais na Caracterização da Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.40, n.2, p. 31-36, 2017.

DIVINO, A. C.; ZAIDAN, R. T.; AFFONSO, E. P. Geotecnologias Aplicadas ao Ensino de Geografia: uma proposta metodológica. **Revista Virtú – ICH**, n.8, p. 1–13, 2009.

FACCO, A. G.; RIBEIRO, A.; PRUSKI, F. F.; MONTEIRO, W. C.; LEITE, F. P.; ANDRADE, R. G.; MENEZES, S. J. M. C. Técnicas de geoinformação para estimativa do balanço hídrico em eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p. 1243–1250, 2012

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; GARRASTAZÚ, M. C. Zoneamento edáfico para o eucalipto na região do Corede Sul, Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-6.

FRANCELINO, M. R.; REZENDE, E. M. C.; SILVA, L. D. B. Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **Cerne**, v.18, n.2, p. 275-283, 2012.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. Potencial Pedoclimático do Estado da Paraíba para a Cultura da Mamona (*Ricinus communis* L.). **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 66-76, 2017.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de

manejo. **Revista Unimar Ciências**, v.26, n.1-2, 2017.

MENEZES, O. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, I. R. Edapho-climatic zoning for *Eucalyptus urograndis* in the state of Tocantins, Brazil. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.2, n.2, p. 62-71, 2015.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; CECILIO, R. A.; MAFIA, R. G.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C. Potential impact of the global climate changes on the spatial distribution of areas of risk for the occurrence of eucalyptus rust in Brazil. **Summa Phytopathologica**, v.40, n.2, p. 114-122, 2014.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, D. V. O.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.34, n.2, 2010.

RAMALHO, A. H. C.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; Maffioletti, F. D.; PELUZIO, T. M. O, CARMO, F. C. A, SILVA, E. F.; MOREIRA, T. R.; AND LACERDA, L. C. Fuzzy logic applied in the prospecting of suitable areas for the establishment of commercial forest plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, v.52, n.7, p. 1042-1059, 2022.

SILVA, L. P.; VAN LIER, Q. J.; CORREA, M. M.; MIRANDA, J. H. O. Retention and Solute Transport Properties in Disturbed and Undisturbed Soil Samples. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.40, n.1, p. 1- 10, 2016.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p. 25-35, 2015.

SILVA, A. B.; AMARAL, A. J.; SANTOS, J. C. P.; GOMES, E. C.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA NETO, M. B. Potencial pedológico do Estado de Alagoas para o cultivo de cana-de-açúcar em manejo com alta tecnologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1-4.

SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. Zoneamento edafoclimático para cultura da seringueira no Espírito Santo. **Irriga**,

v.18, n.1, p.1-12, 2013.

SILVA, M. S. B.; SILVA, E. M. R. D.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. D. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e ambiente**, v.4, p.431 - 441, 2012.

SILVA, J. C.; XAVIER, B. A. **Eucalipto: manual prático do fazendeiro florestal, produzindo madeira com qualidade**. Viçosa, MG, 2006. 65 p.

TIAN, Z.; LU, Y.; REN, T.; HORTON, R.; HEITMAN J. Improved thermo-time domain reflectometry method for continuous in-situ determination of soil bulk density. **Soil & Tillage Research**, v.178, n.1, p. 118-129, 2018.

TOLFO, A.L.T; CESAR, P.R; BONINE, C.A.V; BASSA, A; VALLE, C.F. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus spp*. **Scientia Forestalis**, v.67, n.2, p. 101-110, 2005.

Capítulo 1

Zoneamento pedoclimático para Eucalyptus no estado da Bahia

Zoneamento pedoclimático para *Eucalyptus* no estado da Bahia

RESUMO: A Bahia apresenta condições climáticas e extensas áreas com potencial para a silvicultura, a exemplo do cultivo de espécies de *eucalyptus*, que têm ampla adaptação ambiental e podem ser exploradas comercialmente em áreas sob diferentes níveis de degradação. O objetivo desse trabalho foi realizar o zoneamento pedoclimático para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* no estado da Bahia, categorizadas em cenários de regiões como apta, restrita e inapta para o plantio de eucalipto. Foram utilizados dados disponíveis nas estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas, Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA, mapa de classificação climática e mapa de Solos do RADAM Brasil (Projeto Radar da Amazônia). Os dados de clima e solo foram compilados para classificar as regiões com somatório de características favoráveis às espécies de eucalipto. Pelo cruzamento do zoneamento pedoclimático foram suprimidas as regiões com restrições ao desenvolvimento das três espécies de eucalipto, conforme suas exigências ambientais como, precipitação média anual mínima e condições de solo restritas ao desenvolvimento das plantas de eucalipto. Ao cruzar os dados climáticos e edáficos, para obtenção do zoneamento pedoclimático, observou-se que para a espécie *C. citriodora* aparece com maior área disponível para a classe apta, ocupando mais de 2/3 do território da Bahia. Em seguida vem *E. grandis*, que também apresenta grande área apta, mais da metade de toda área sob estudo, e com menor área a espécie *E. urophylla*, devido sua maior susceptibilidade a deficiência hídrica. O zoneamento pedoclimático para o estado da Bahia mostrou grandes áreas com potenciais para o cultivo das espécies de *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* a partir da utilização das áreas subutilizadas pelas pastagens. A espécie *C. citriodora* apresentou áreas aptas com mais de 114.000 km², seguida pelo *E. grandis*, com área apta em torno de 106.000 km², enquanto o *E. urophylla* apresentou a menor área apta para o cultivo ao longo do território da Bahia, cerca de 43.000 km², sendo predominantemente localizados ao longo de toda faixa litorânea e algumas poucas áreas na região oeste da Bahia.

Palavras-chave: Geotecnologias, Manejo florestal, Silvicultura, Reflorestamento.

Pedoclimatic zoning for species of Eucalyptus in the state of Bahia

ABSTRACT: Bahia has climatic conditions and extensive areas with potential for forestry, such as the cultivation of eucalyptus species, which have wide environmental adaptation and can be commercially exploited in areas under different levels of degradation. The aim of this work was to carry out pedoclimatic zoning for the species *C. citriodora*, *E. grandis* and *E. urophylla* in the state of Bahia, categorized in regional scenarios as suitable, restricted and unsuitable for eucalyptus plantations. Data available from the rainfall stations of the National Water Agency (Agência Nacional de Águas), the Institute for the Environment and Water Resources (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA), the climate classification map and the soil map from RADAM Brazil (Amazon Radar Project) were used. Climate and soil data were compiled to classify the regions with the sum of favorable characteristics for eucalyptus species. By cross-referencing the pedoclimatic zoning, regions with restrictions on the development of the three eucalyptus species were removed, according to their environmental requirements, such as minimum average annual rainfall and soil conditions restricted to the development of eucalyptus plants. By cross-referencing the climatic and soil data to obtain pedoclimatic zoning, it was observed that the species *C. citriodora* appears to have the largest area available for the apt class, occupying more than 2/3 of Bahia's territory. Next comes *E. grandis*, which also has a large suitable area, more than half of the entire area under study, and with a smaller area the species *E. urophylla*, due to its greater susceptibility to water deficiency. The pedoclimatic zoning for the state of Bahia showed large areas with potential for growing *C. citriodora*, *E. grandis* and *E. urophylla* species, based on the use of areas underutilized by pastures. The species *C. citriodora* had suitable areas of more than 114,000 km², followed by *E. grandis*, with a suitable area of around 106,000 km², while *E. urophylla* had the smallest area suitable for cultivation throughout the territory of Bahia, the area is about 43,000 km² and is predominantly located along the entire coastline, with a few areas in the western region of Bahia.

Keywords: Geotechnologies, Forest management, Silviculture, Reforestation.

1.0 INTRODUÇÃO

No Brasil a silvicultura tem ganhado destaque no mercado com o crescimento das florestas plantadas, apresentando diversos avanços tecnológicos no melhoramento genético para as espécies florestais. Além disso, possui condições climáticas adequadas para o cultivo da espécie e grandes áreas sem uso, em muitos casos, degradadas ou com uso inadequado que podem ser utilizadas para o manejo de florestas plantadas, fato que reduz a pressão e o avanço sobre as florestas nativas.

Segundo o Relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), o Brasil apresentou em 2020, uma área total de 9,55 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 78% desse total com eucalipto, com 7,47 milhões de hectares. Destacam-se três estados que concentram grande parte das áreas plantadas: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo. A Bahia ocupa a 4ª posição no ranking dos estados produtores de eucalipto no Brasil, com cerca de 585,6 mil ha (ABAF, 2021). A Bahia possui uma diversificada cadeia produtiva, com cerca de 521 empresas atuando no setor florestal com elevado grau de aproveitamento das áreas de florestas plantadas. A produção de madeira serrada e móveis estão associadas a 52% dessas empresas, seguida da indústria madeireira com 32% com a produção de celulose e 16% de papel e papelão (ABAF, 2021).

A cultura do eucalipto apresenta ciclos de corte por volta de 6 a 8 anos, no Brasil (GONÇALVES et al., 2008) e produtividade média de $36,8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IBA, 2021). Apesar de possuir alta adaptação às diversas condições edafoclimáticas, são necessários estudos para prever os ambientes ideais para cada espécie de *Eucalyptus* visando com isso uma melhor capacidade produtiva (BOGNOLA et al., 2009). Assim, devido a diversidade bioclimática e de solos no Brasil, faz se necessário, antes de ser estabelecido os cultivos florestais, o devido conhecimento dos fatores ambientais que diretamente influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas, como precipitação, umidade do ar, temperatura, radiação solar, umidade e fertilidade do solo (PEREIRA et al., 2002). Segundo Silva e Xavier (2006), o sucesso do gênero *Eucalyptus* é determinado por seus atributos fenológicos e grande adaptação as diversas condições climáticas e de solo.

Atualmente existem cerca de 700 de espécies de eucaliptos no mundo, no entanto, o *Eucalyptus grandis* é uma das espécies com maior importância em

plantações, pois apresenta excelente base genética disponível (HARWOOD, 2011). O *Eucalyptus urophylla*, segundo Guimarães Jr. et al. (2012), está presente no Brasil desde a década de 1970, sendo juntamente com o *E. grandis* utilizado em diversos seguimentos, como aglomerados, painéis de madeira, mobiliário, pasta de celulose e papel *kraft*, carvão vegetal e biomassa, entre outros (WIERSEMA; LEON, 2016). Além das espécies citadas anteriormente, outra espécie de grande importância cultivada no mundo é o *Corymbia citriodora*, sendo sua produção no Brasil, destinada principalmente para produção de carvão vegetal (REIS et al., 2013).

Existem fatores ambientais importantes que influem diretamente no crescimento e desenvolvimento satisfatório das culturas florestais, tais como: precipitação, temperatura, fertilidade do solo, radiação solar, umidade (PEREIRA et al., 2002) e propriedades dos solos (MAFRA et al., 2008), afetando com isso na escolha das espécies a serem cultivadas em uma região, uma vez que espécies florestais manejadas em condições ambientais favoráveis apresentam crescimento satisfatório (LIMA; GARCIA, 2011). Deste modo, informações sobre condições de solo, clima e relevo, possibilitam assertivas tomadas de decisão para escolha das áreas de cultivo com eucalipto.

O zoneamento pedoclimático tem se mostrado uma ferramenta com potencial para apoio na tomada de decisão, devido a caracterização das áreas para alocação de povoamento florestal. Segundo Nappo (2005), o zoneamento pedoclimático serve como parâmetro para avaliar os fatores que podem afetar o crescimento, estabelecimento e a maximização da produção da cultura, com a finalidade de adquirir informações sobre a capacidade de dado ambiente para o plantio da espécie de interesse. Desta forma, o conhecimento sobre as condições edafoclimáticas da área e das características da espécie permite obter melhores resultados, tanto físicos, quanto econômicos, independente do produto final do povoamento florestal. Neste sentido, ferramentas como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), servem como um meio para identificar áreas que apresentam potencial econômico para cultivo florestal, com tecnologias que delimitam o zoneamento, a partir de diferentes tipos de informações compiladas em apenas um banco de dados.

O trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar o zoneamento pedoclimático para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* no estado

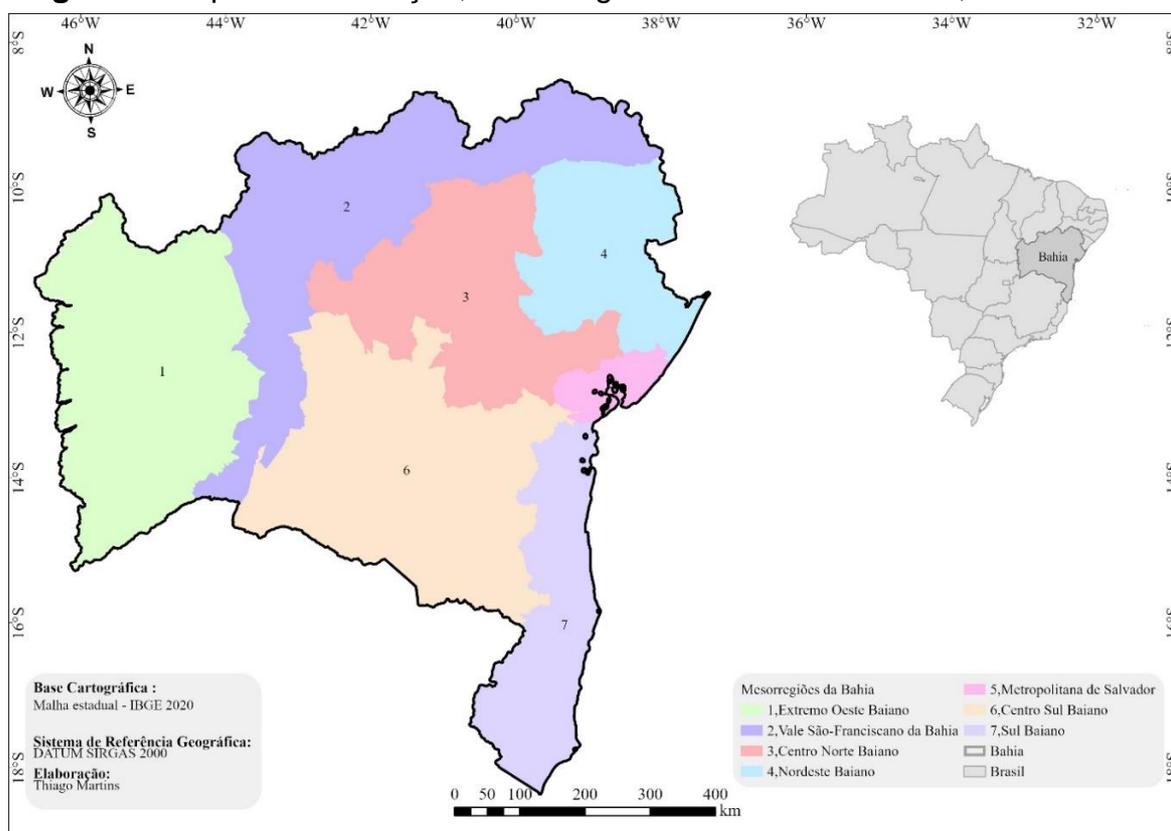
da Bahia, e desta forma, definir as regiões que apresentam melhores condições de clima e solo, categorizadas como: apta, restrita e inapta para o plantio de eucalipto.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área do estudo

A área delimitada para elaboração do projeto foi todo o território do estado da Bahia (BA), com uma extensão de 564.760,429 km² (IBGE, 2020) (Figura 1).

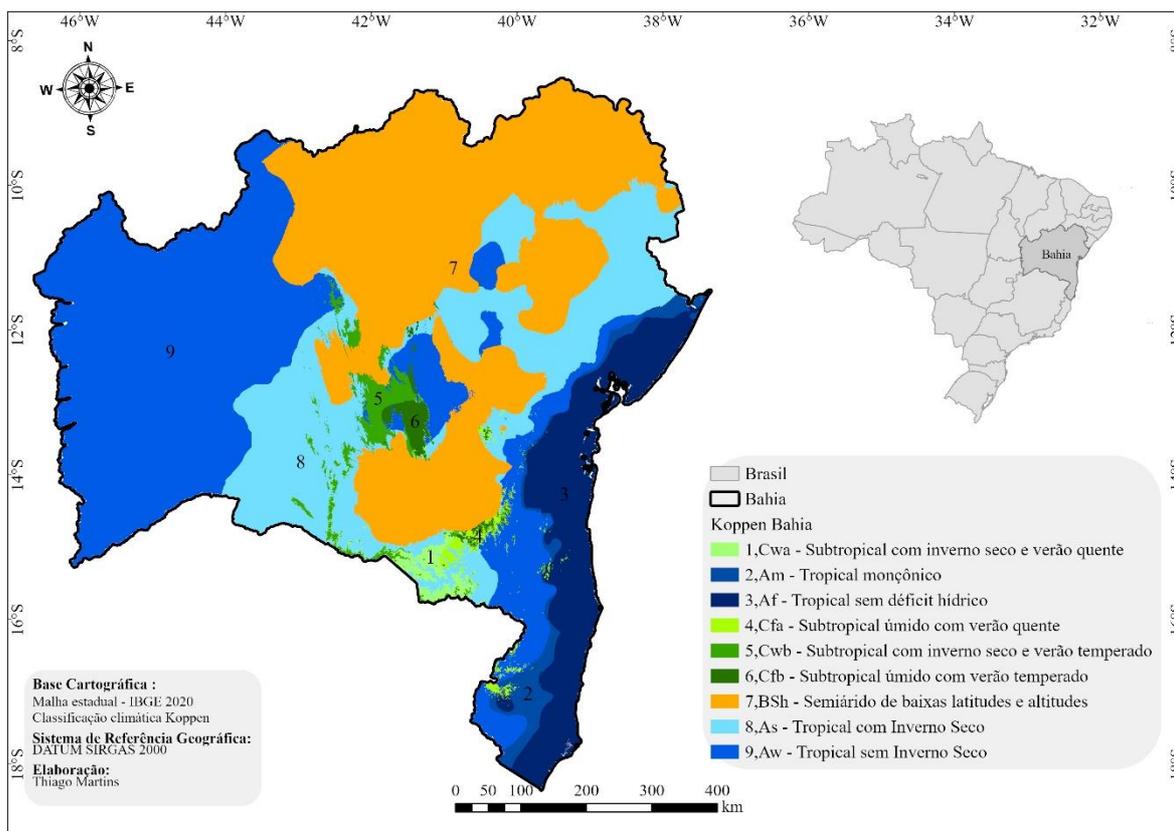
Figura 1. Mapa de localização, mesorregiões do estado da Bahia, Brasil.



Autor: Thiago Martins

O estado da Bahia apresenta variação em suas condições climáticas. Segundo a classificação Köppen, a Bahia é composta por nove tipos de climáticos: Af (Tropical sem déficit hídrico), Am (Tropical monçônico), As (Tropical com Inverno Seco), Aw (Tropical sem Inverno Seco), Bsh (Semiárido de baixas latitudes e altitudes), Cfa (Subtropical úmido com verão quente), Cfb (Subtropical úmido com verão temperado), Cwa (Subtropical com inverno seco e verão quente) e Cwb (Subtropical com inverno seco e verão temperado) (ALVARES et al., 2013).

Figura 2. Mapa da classificação Köppen, para o estado da Bahia, Brasil.

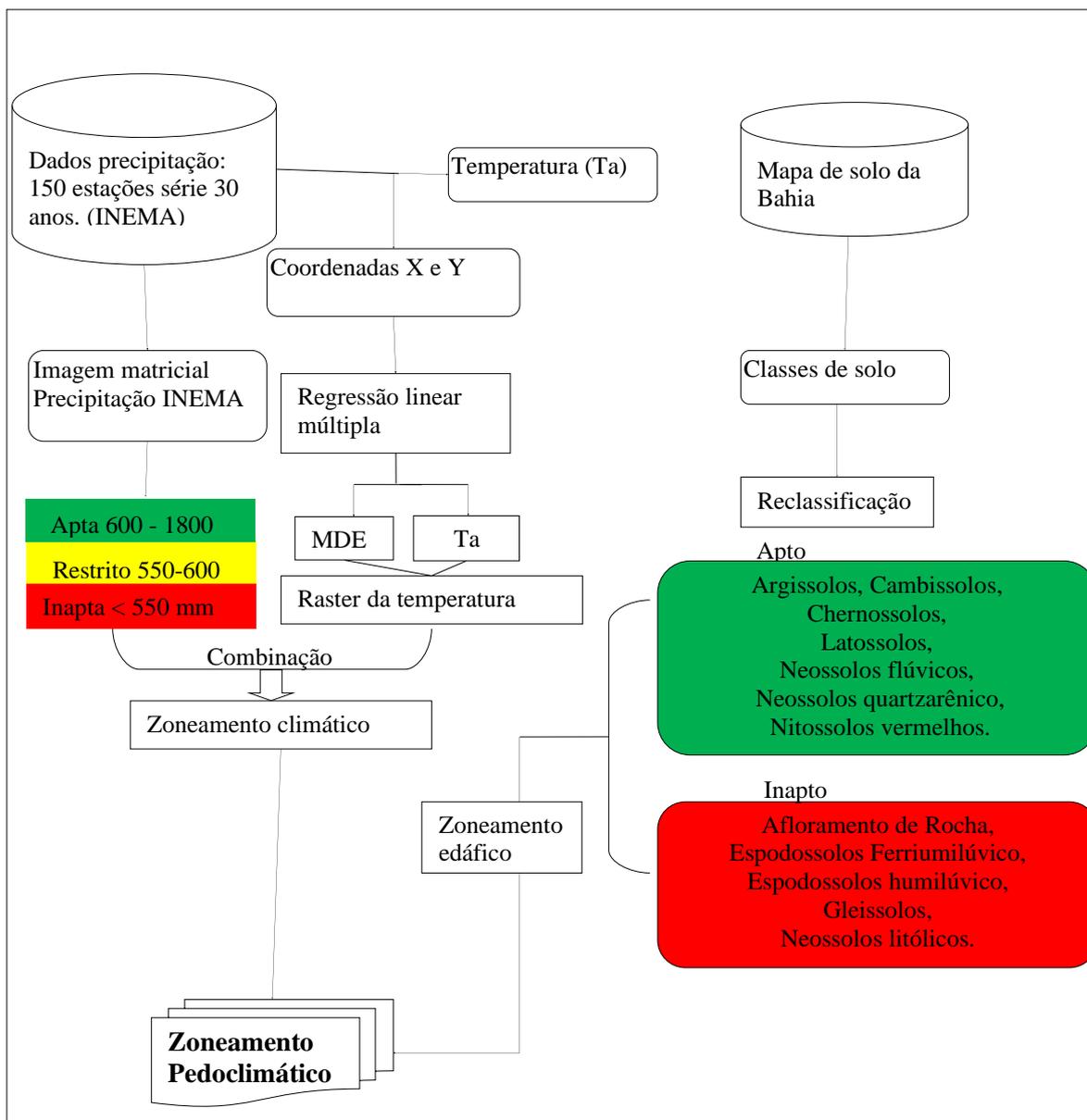


Autor: Thiago Martins

2.2 Processamento dos dados

Para geração de dados climáticos foram utilizadas imagens matriciais dos 12 meses disponibilizadas pelo INEMA (1991-2020), esses dados fazem parte de uma série de 30 anos de estações pluviométricas localizadas no estado da Bahia. A metodologia para gerar o zoneamento está estruturada no fluxograma com os procedimentos fundamentais para a elaboração (Figura 3).

Figura 3. Etapas metodológicas para elaboração do zoneamento pedoclimático para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*.



Fonte: Adaptado (RAMALHO et al., 2022).

Além disso, foi gerada uma planilha eletrônica contendo informações referentes a cada estação com dados de temperatura. Após a importação das planilhas para o software QGIS, versão 3.22, realizou-se a vetorização espacial pontual das estações e aplicação da regressão linear múltipla. Para tal utilizaram-se os dados de altitude e de coordenadas (UTM) X e Y, como variáveis independentes, e de temperatura, como variável dependente, localizados na tabela de atributos, conforme demonstrado na Equação 1 (SPERANDIO et al., 2010).

$$T = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 X + \beta_3 Y \quad (1)$$

Em que T é temperatura em graus Celsius (°C), o β_0 é a constante de regressão, as variáveis utilizadas para o coeficiente de regressão β_1 , β_2 e β_3 , a variável ALT (altitude dada em metros - m) e as coordenadas UTM.

Também foi utilizado o Modelo Digital de Elevação - MDE, junto com as equações de regressões lineares múltiplas e as respectivas variáveis independentes, com o objetivo de gerar imagens matriciais de temperaturas médias mensais e média anual, através da álgebra de mapas. Com isso, foi aplicada uma reclassificação das imagens matriciais de temperatura média anual e precipitação pluviométrica para caracterizar as classes de aptidão para as espécies de eucalipto (Tabela 1) (RAMALHO et al., 2022).

Tabela 1. Exigências climáticas das espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*

Espécies	Classe de aptidão	Tipo climático	Temperatura	Precipitação (mm)
<i>Eucalyptus grandis</i>		⁽¹⁾ Cfa	17 - 23°C	550 - 1.800
<i>Eucalyptus urophylla</i>	Apta	⁽¹⁾ Aw	19 - 26°C	900 - 1.800
<i>Corymbia citriodora</i>		⁽¹⁾ Cfa e Cwa	20 - 24°C	350 - 1800

Fonte: Adaptado de Correa et al. (2020). ⁽¹⁾ Flores et al. (2016)

Foi feita a reclassificação das classes de aptidão natural do solo (Tabela 2), de acordo as delimitações de Silva (2018).

Tabela 2. Classes de aptidão natural do solo para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*.

Classes de Aptidão	Classes de Solo
Apta	Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Latossolos, Neossolos flúvicos, Neossolos quartzarênico, Nitossolos

Fonte: Adaptado de Silva (2018).

Ao final de todo processamento foi possível compilar todos os dados gerando os mapas com o zoneamento das classes definidas para o potencial climático e pedológico. Com tais características, foi possível indicar as áreas (aptas, restritas, inaptas e impróprias) para o plantio de *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* no estado da Bahia. As classes de aptidão usadas para essa finalidade estão representadas na (Tabela 3).

Tabela 3. Exigências climáticas das espécies para implantação do povoamento florestal.

Classe de aptidão	Descrição
Aptas	São as áreas com aptidão para cultivo da eucaliptocultura, ou seja, não apresentam restrições pedoclimáticas capazes de restringir a produtividade.
Restritas	São mapeadas áreas que contém limitações pedoclimáticas, no qual afetam seriamente o cultivo e desenvolvimento da eucaliptocultura, no entanto, são áreas sujeitas ao melhoramento.
Inaptas	São áreas onde existem fortes restrições pedoclimáticas, com isso, apresentam grandes limitadores que afetam bruscamente o plantio de espécies de eucalipto
Impróprias	Áreas impróprias para implantação do povoamento florestal (Unidades de conservação e zonas urbanas).

Fonte: Adaptado de Sperandio et al. (2010).

2.3 Uso e ocupação da terra

Os arquivos vetoriais de representação da cobertura vegetal do estado da Bahia foram obtidos através do MapBiomas coleção 6.0, referentes ao ano de 2020. Com isso, foi possível associar os tipos de uso e cobertura no estado, auxiliando a elaboração das classes de aptidão à implantação de sistemas de produção de base florestal. Além disso, através do mapa de uso da terra do MapBiomas, foi possível identificar as áreas de pastagem que estavam dentro das zonas aptas para o plantio do povoamento florestal; também as áreas de Unidades de Conservação (UC's) foram identificadas como impróprias à implementação florestal.

Os dados de clima e solo foram compilados para classificar as regiões que possuem somatório de características favoráveis às espécies de interesse com uso do software ArcGIS. Pelo cruzamento do zoneamento pedoclimático foram suprimidas as regiões com restrições ao desenvolvimento das espécies conforme suas exigências ambientais como, precipitação média anual mínima, condições de temperatura e de solo, que são restritas ao desenvolvimento das árvores. As áreas aptas apresentam aptidão em todas as variáveis em estudo, enquanto as áreas inaptas apresentam inaptidão por uma ou mais variáveis em estudo.

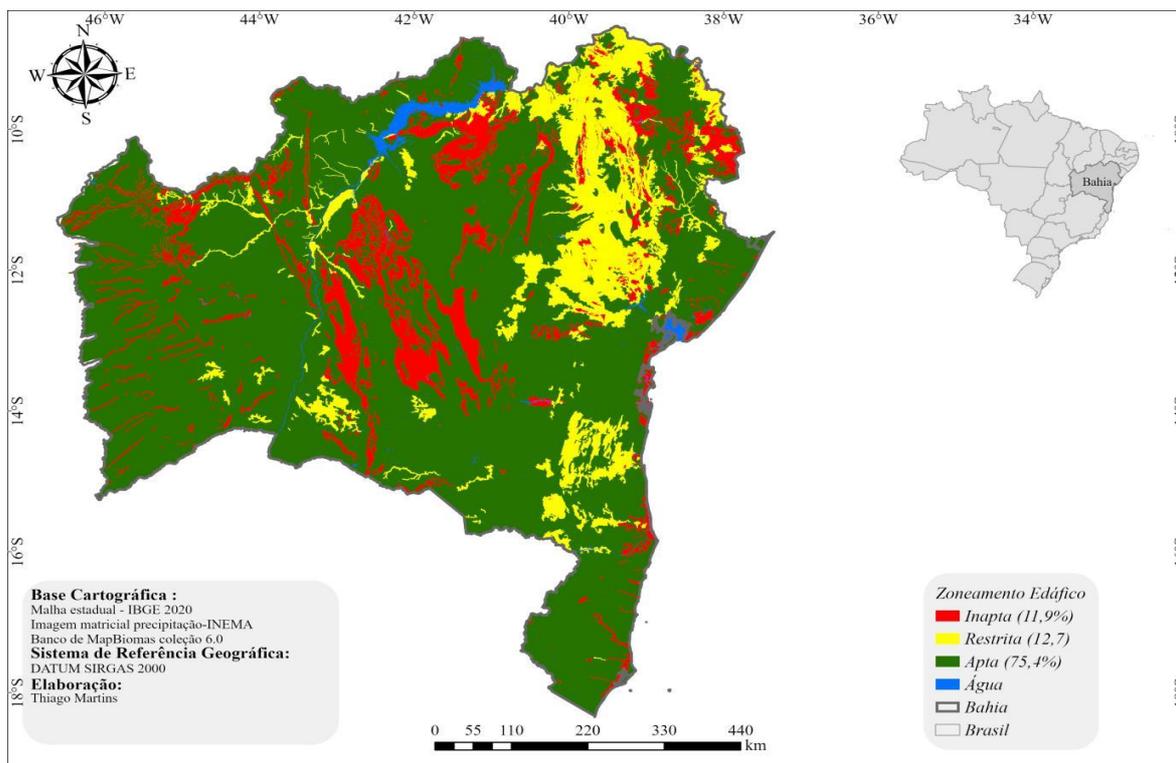
Para o zoneamento das áreas potenciais para as espécies *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* foram utilizados dados com projeção geográfica do DATUM SIRGAS 2000, referentes ao uso e ocupação da terra, levantamento de solos disponíveis pelo Projeto RADAMBRASIL (1981), e informações climáticas através do INEMA.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando apenas as preferências edáficas para o cultivo do eucalipto, ou seja, o zoneamento para as condições naturais do solo, há ocorrência da classe apta nos Latossolos, Neossolos e Argissolos. Isso significa que o estado da Bahia apresenta em sua grande maioria como território para a classe apta, que favorecem o cultivo do povoamento florestal de *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*. (Figura 4).

A aptidão dos solos está atrelada a não restrição de desenvolvimento e crescimento das plantas, ou seja, solos que não apresentam fatores que restringem o crescimento e desenvolvimento das plantas. Por mais que Argissolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos sejam quimicamente pobres, mas estão associados como aptos, é porque tais solos apresentam baixas restrições, pois, baixa fertilidade pode ser reparada com adubação, contudo, pedregosidade, solos coesos, solos rasos, má drenagem, entre outras limitações, para eucaliptocultura são restritivas.

Figura 4. Mapa do zoneamento edáfico para as espécies de eucalipto no estado da Bahia, Brasil.



Autor: Thiago Martins.

Pelo cruzamento dos dados climáticos e edáficos, que representa o zoneamento pedoclimático, observa-se que a espécie *C. citriodora* aparece com maior área disponível, ou seja, maior predominância para a classe apta, ocupando mais de 2/3 do território do estado para seu cultivo. Essa área é maior comparada ao *E. grandis*, que também apresenta grande área apta que, por sua vez, soma mais da metade de toda área estudada. A espécie *E. urophylla* é mais suscetível a deficiência hídrica. Por outro lado, a vantagem em relação ao *E. grandis* é que o *E. urophylla* é mais resistente à temperatura, com isso apresenta-se mais resistente a restrição térmica demonstrando maior amplitude térmica (Tabela 4).

Tabela 4: Zoneamento pedoclimático para o plantio de *C. citriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla* no estado da Bahia, Brasil.

Classes	<i>C. citriodora</i>		<i>E. grandis</i>		<i>E. urophylla</i>	
	Área km ²	%	Área km ²	%	Área km ²	%
Apta	412.661,92	73,71%	348.054,95	62,18%	169.544,95	30,29%
Restrita	128.433,86	22,94%	168.793,35	30,15%	318.837,20	56,95%
Inapta	222,06	0,04%	24.459,26	4,37%	52.910,61	9,45%
Corpos d'água	5.347,81	0,96%	5.330,40	0,95%	5.372,33	0,96%
Áreas Impróprias	13.146,70	2,35%	13.146,70	2,35%	13.146,70	2,35%

De acordo com a tabela 5, verifica-se que no estado da Bahia existe uma predominância de Latossolos, Neossolos e Argissolos somando mais de 75% de toda área do estado. O Latossolos por ser profundo, apresenta condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade, em virtude da grande profundidade efetiva, com boa retenção e disponibilidade de água, possuem condições físicas que, aliadas ao relevo plano ou suave ondulado onde ocorrem, favorecem a mecanização e utilização com as mais diversas culturas adaptadas à região.

Tabela 5: Predominância dos tipos de solos no estado da Bahia.

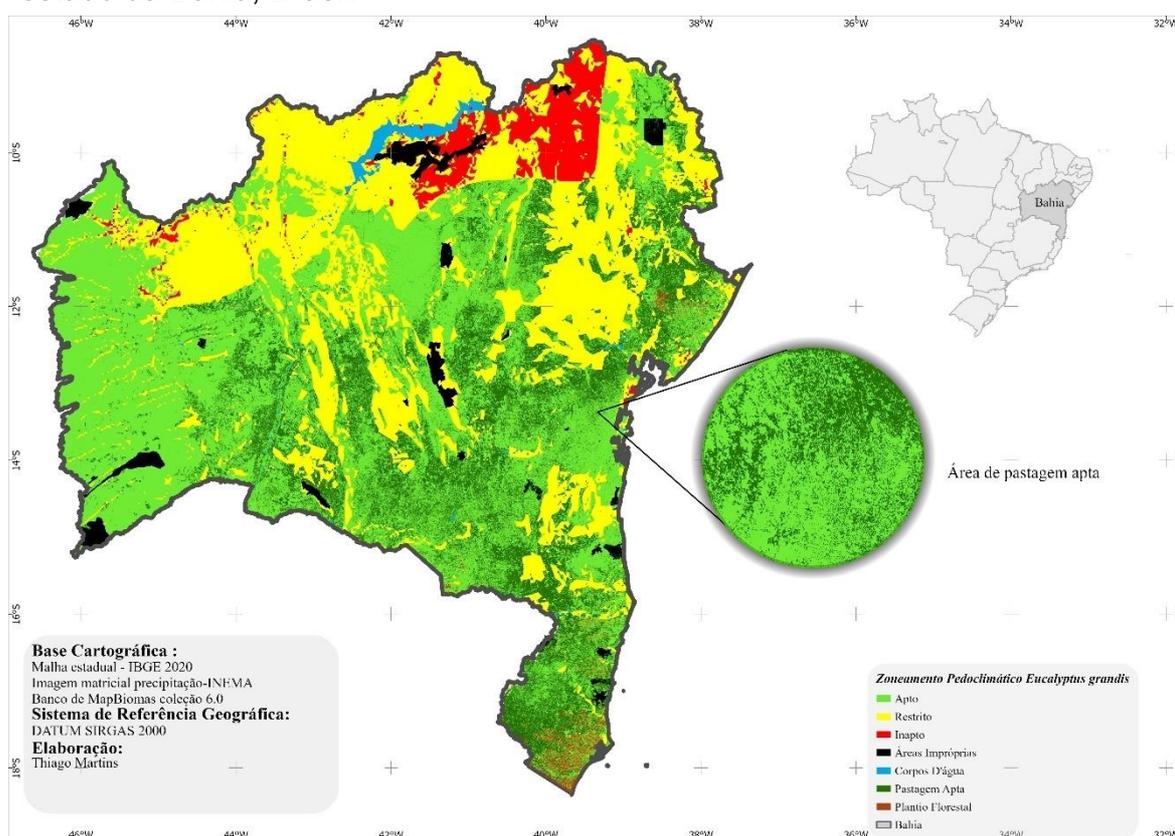
Tipos de Solo	km²	%
Latossolos	229.875,87	40,71%
Neossolos	114.716,07	20,31%
Argissolos	86.699,40	15,35%
Planossolos	46.794,41	8,29%
Cambissolos	38.653,48	6,84%
Luvissolos	19.403,76	3,44%
Outros	28.574,99	5,06%

De maneira similar, os Argissolos são solos também profundos e não pedregosos, porém são pobres de nutrientes. Também em condições ideais de friabilidade estes solos possibilitam uma mecanização sem muitas dificuldades, fato importante quando se considera que todo o preparo das áreas para plantios florestais é conduzido por meio da mecanização. Por outro lado, os Neossolos, em que os processos de formação do solo ainda não atuaram de forma significativa, como os Neossolos Litólicos, apresenta baixa profundidade, com presença de pedregosidade que dificulta a infiltração de água e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SANTOS, 2018).

No entanto, é possível encontrar subordens de Neossolos que são aptas para plantios de eucalipto, como os Neossolos Quartizarênicos, que são solos profundos e com baixa fertilidade natural. A drenagem desses solos é excessiva em função da presença de material arenoso e porosidade elevada (SANTOS, 2018).

Geralmente o eucalipto não consegue se desenvolver em solos rasos, compactados, pedregosos e propícios ao encharcamento (PENTEADO et al., 2019). Desta forma, deve-se avaliar de maneira prévia o tipo de solo e as condições de fertilidade, de forma a realizar o plantio, preferencialmente, em solos profundos e bem drenados, o que beneficiará o desenvolvimento adequado do povoamento florestal. Com isso, no presente estudo foi verificado que a maior parte do estado da Bahia apresentou-se apta para o plantio das espécies *E. grandis* e *C. Citriodora*, porém para ambas as espécies, a principal região de restrição e inaptibilidade para o plantio está em grande parte do Vale do Rio São Francisco e boa parte da região Centro Norte do território baiano. As regiões inaptas apresentaram pouquíssimas ou nenhuma das características exigidas pela espécie (Figura 5).

Figura 5. Mapa do zoneamento pedoclimático para a espécie *E. grandis* no estado da Bahia, Brasil.

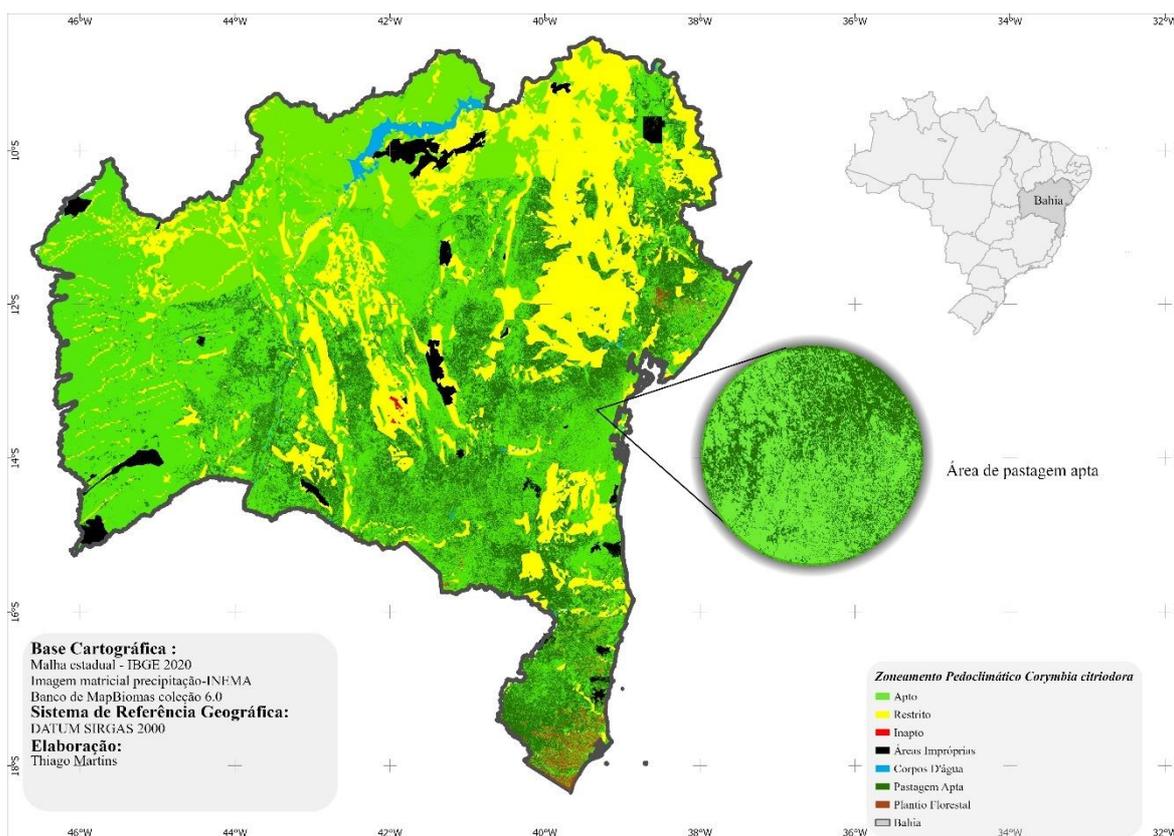


Autor: Thiago Martins.

Por ser mais resistente ao estresse hídrico o *C. citriodora* consegue se desenvolver mais em grande parte do estado da Bahia, apresentando resultado expressivo quanto ao seu potencial de desenvolvimento. A depender da demanda de utilização apresenta-se como espécie de maior potencial de recomendação para

implantação florestal (Figura 6). Segundo Reis et al. (2013) o *C. citriodora* é considerado uma das melhores espécies para produção do carvão, pois produz um carvão de alta densidade. Além disso, a madeira do *C. citriodora* é muito versátil e pode ser facilmente trabalhada, o que a torna ideal para a fabricação de móveis e outros produtos de madeira.

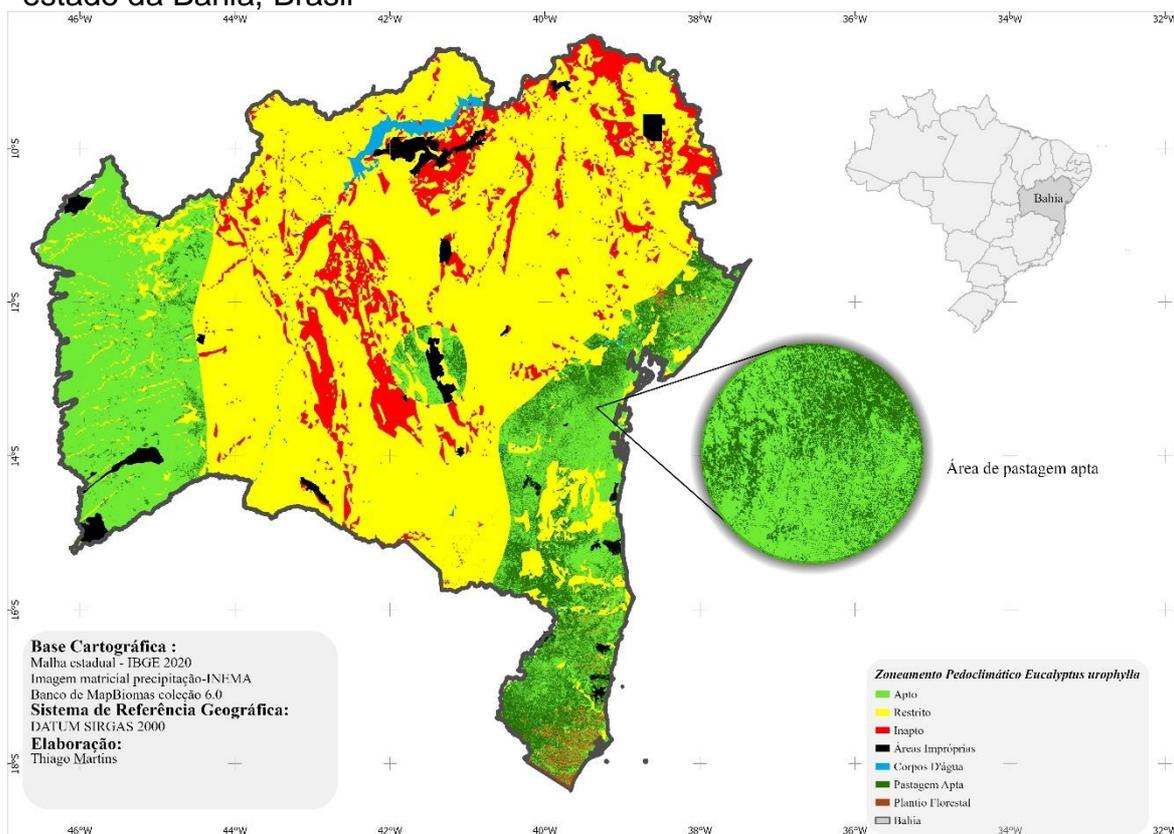
Figura 6. Mapa do zoneamento pedoclimático para a espécie *C. citriodora* no estado da Bahia, Brasil.



Autor: Thiago Martins.

No entanto, para a espécie *E. urophylla*, as regiões indicadas como apta para implantação de povoamentos florestais localizam-se em toda parte do litoral e na região oeste da Bahia. Estas regiões apresentam condições regulares de precipitação e solos profundos, favorecendo a mecanização, além da faixa de temperatura preferencial para as espécies estudadas. Porém, para que possa aumentar a abrangência e a produtividade da espécie em outras regiões é importante destacar que é necessário investir e utilizar técnicas que possibilitem melhores condições no que se refere ao estresse hídrico (Figura 7).

Figura 7. Mapa do zoneamento pedoclimático para a espécie *E. urophylla* no estado da Bahia, Brasil



Autor: Thiago Martins.

De acordo com Elli et al. (2020), onde o zoneamento pedoclimático para *Eucalyptus* registrou áreas inaptas características, porém sem muitas restrições climáticas e edáficas, é necessário considerar que sejam utilizadas técnicas de manejo, assim como uso de materiais genéticos resistentes às adversidades edafoclimáticas para se obter resultados satisfatórios nos plantios florestais, ou seja, abaixo de áreas que são aptas por natureza devido as condições edafoclimáticas.

Corroborando com Sperandio et al. (2010), que enfatizou que o plantio de espécies de eucalipto em áreas contrárias as recomendadas como aptas, poderão se desenvolver, porém alcançarão uma produtividade moderada, ou seja, abaixo do seu máximo potencial genético de crescimento e produtividade. Desta maneira, a utilização do zoneamento agroclimático como ferramenta suporte para separar áreas homogêneas indicadas como ideias para determinada cultura, mostra se adequada na geração de uma base de dados para o planejamento do uso da terra (BARREDA et al., 2019).

As espécies agrícolas e florestais alcançam melhores índices de produtividade quando desenvolvidas em condições edafoclimáticas favoráveis às quais são submetidas, pois estão diretamente correlacionadas a produção. Desta maneira, quando são cultivadas em áreas que não apresentam condições edafoclimáticas consideradas aptas para o desenvolvimento de determinada espécie, isso provoca diminuição não somente na produtividade, mas também econômica (SANTOS et al., 2016).

No entanto, as áreas com restrições não devem ser ignoradas no planejamento florestal, pois, são áreas passíveis de manejo com o objetivo de alcançar maiores áreas produtivas nas regiões classificadas como restritas. Para isso, faz-se necessário um planejamento com capacidade de diminuir esses efeitos prejudiciais ao povoamento florestal causados pelo estresse hídrico (OLIVEIRA et al., 2013), pelas características físico-químicas do solo (GAVA; GONÇALVES, 2008) e pelas condições de precipitação e temperatura da região (POERSCH et al., 2017).

Em estudo desenvolvido por Sperandio (2010), sobre o zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no estado do Espírito Santo foi verificado que o *déficit* hídrico se destacou entre os fatores que mais afetaram o desenvolvimento da espécie de eucalipto. Porém, segundo o autor a espécie *E. urophylla* foi mais tolerável e apresentou menor *déficit* hídrico, além de demonstrar maior resistência a faixas mais altas de temperatura.

De acordo com os dados do MapBiomas coleção 6.0 (2020), o estado da Bahia possui área com mais de 160.000 km² de pastagem, e que a maioria está em diferentes estágios de degradação. Desta forma, não se faz necessário conversão, derrubadas de florestas e/ou uso de áreas agrícolas para implantação florestal, pois com dados consolidados do MapBiomas juntamente com a sobreposição de camadas e a análise multivariada do presente trabalho é possível demonstrar que as áreas de pastagens degradadas sejam potencialmente convertidas para implantação florestal, ou seja, onde áreas subutilizadas pelas más condições das pastagens podem ser transformadas em povoamentos florestais.

Pelo cruzamento apenas das áreas aptas e da pastagem, observa-se que as áreas com pastagem são muito extensas, dentro do zoneamento apto para cultivo do eucalipto, em que muitas dessas áreas não apresentam um manejo adequado, tendo como consequência a degradação dessas áreas. Neste sentido,

essas áreas têm grande vocação para implantação do povoamento florestal no território da Bahia (Tabela 6).

Tabela 6: Área de pastagem dentro das Classes Aptas dos zoneamentos das espécies de eucalipto.

Espécies	Classes de Aptidão	km²	%
<i>Eucalyptus grandis</i>		106.864,50	30,70%
<i>Corymbia citriodora</i>	Pastagem dentro do zoneamento apto	114.437,97	27,73%
<i>Eucalyptus urophylla</i>		42.488,68	25,06%

Segundo Carvalho et al. (2017), a degradação das pastagens no Brasil tem sido um grande problema para a pecuária, desenvolvida basicamente a pasto. Estima-se que dos 600.000 km² de pastagens cultivadas no Brasil Central, cerca de 80% estão em algum estágio de degradação, sem possibilidade de recuperação natural e incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais. Esse fato mostra que a produção florestal pode expandir ainda mais no estado da Bahia sem que haja necessidade de supressão de vegetação para implantação em novas áreas, pois em muitos locais o solo está sendo subutilizado. Nas figuras 4, 5 e 6 é possível observar a abrangência da pastagem dentro das classes de aptidão. Tendo em vista essas informações, as empresas, os produtores florestais e agrícolas podem ser mais assertivos na implantação dos povoamentos florestais.

De acordo com Santos et al. (2020), as espécies de *Eucalyptus* podem também ser utilizadas no processo de reutilização de áreas de pastagens degradadas, com o objetivo de reduzir as taxas de perdas de solo, bem como o escoamento superficial, devido a sua melhoria nos atributos do solo. Além disso, proporciona um potencial retorno econômico para os produtores que o utilizem com esta finalidade. Com isso, o zoneamento agroclimático apresenta-se como importante ferramenta para que este seja implantado de forma mais assertiva, proporcionando o desenvolvimento adequado das espécies.

No presente estudo foi possível verificar além das áreas atualmente ocupadas com plantios comerciais de eucalipto, o potencial de adequação da cultura e possíveis áreas de expansão da atividade em território baiano. Aproveitar

as áreas subutilizada com pastagem degradada, ou seja, sem a necessidade de competir com áreas usadas para agricultura nem com aquelas áreas ocupadas com vegetação natural. No entanto, além da necessidade da indicação das áreas aptas para o estabelecimento do povoamento florestal, através do zoneamento pedoclimático para determinada espécie, se faz necessário, antes da implantação de cultivos, elaborar estudos de caráter ambiental, econômico e social, adquirindo resultado com maior nível de detalhes, além do estudo da viabilidade de outras espécies (CORREA et al., 2020).

4.0 CONCLUSÕES

O estado da Bahia possui aproximadamente 263.800 km² de áreas potenciais para plantio de eucalipto, por meio da utilização das áreas subutilizadas pela ocupação da pastagem.

A espécie *C. citriodora* é a que mais se adapta as condições edafoclimáticas do estado da Bahia, com área apta de 114.000 km².

O *E. grandis* se destacou entre as novas áreas aptas podendo ser cultivado em cerca de 106.000 km².

O *E. urophylla* foi a espécie com menor área apta, estando as mesmas concentradas na faixa litoral e região oeste do estado da Bahia, totalizando cerca de 43.000 km²

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAF. **Bahia Florestal 2021**. Curitiba-PR. STCP Engenharia de Projetos Ltda. 2021.

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

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. **Folha SD. 24 Salvador**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981d. 624 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

BOGNOLA, I. A.; GAVA, J. L.; FASOLO, P. J.; STOLLE, L. Proposição de uma metodologia para identificação de unidades de manejo produtivas em plantios de *Eucalyptus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 27-36, 2009.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; e PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de

recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, n.10, p. 0947-1073, 2017.

CORREA, H. C. R. .; FLORENTIM, E. T. S. .; MONTEIRO, F. D. N. .; FALCÃO, K. dos S. .; PANACHUKI, E. . Agroclimatic Zoning to species of Eucalyptus Genus in the State of Southern Mato Grosso do Sul. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e4691210741, 2020.

ELLI, E. F.; SENTELHAS, P. C.; HUTH, N.; CARNEIRO, R. L.; ALVARES, C. A. Gauging the effects of climate variability on Eucalyptus plantations productivity across Brazil: A process based modelling approach. **Ecological Indicators**, v.114, 106325, 2020.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; GARRASTAZÚ, M. C. Zoneamento edáfico para o eucalipto na região do Corede Sul, Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-6.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. A.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil, Zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. p. 216 e 416.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. D. M. Soil attributes and wood quality for pulp production in plantations of *Eucalyptus grandis* clone. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 3, p. 306–313, 2008.

GARCIA-BARREDA, S.; SÁNCHEZ, S.; MARCO, P.; SERRANO-NOTIVOLI, R. Agro-climatic zoning of Spanish forests naturally producing black truffle. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.269, p.231-238, 2019.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.L.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v.70, p.105-118, 2008.

GUIMARÃES, JR. J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R.F.; MORI, F. A. Seleção de clones de *Eucalyptus urophylla* para produção de compensados. **Revista Cerne**, v.18, n.4, p. 443-452, 2011.

HARWOOD, C.; 2011. New introductions – doing it right. In: Walker (Ed.), Developing a Eucalypt Resource. Learning from Australia and elsewhere Wood Technology Research Centre, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. **IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES**. Relatório, Brasília: IBA, 2014. p. 125–136.

IBÁ. **Relatório Anual IBÁ - 2021**. São Paulo - SP. Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), da Fundação Getúlio Vargas (FGV). 2021.

Área territorial brasileira - Panorama, 2020. **IBGE**, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/panorama>. Acesso em: 07 de junho de 22.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito da fertilização em propriedades mecânicas da

madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.21, n.3, p.601-608, 2011.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; FILHO, O. K.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.217-224, 2008.

NAPPO, M. E; NAPPO, A. E; PAIVA, H. N. Zoneamento Ecológico de Pequena Escala para Nove Espécies Arbóreas de Interesse Florestal no Estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Periodicidade Semestral – 5a ed. 2005.

OLIVEIRA, G. Q.; LOPES, A. S.; JUNG, L. H.; REGO, N. H.; OLIVEIRA, J. C. L. Desenvolvimento inicial de dois híbridos de eucalipto submetidos à irrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1099–1109, 2013.

PENTEADO, J.; PICHELLI, K; SOARES, S. Portal da Embrapa – Perguntas e Respostas. **EMBRAPA**, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas#:~:text=O%20Eucalyptus%20benthamii%20%C3%A9%20considerado,at%C3%A9%2014%20C5%20%C2%B0C.>> Acesso em: 09 de jul. de 2022.

PEREIRA, A.R; SENTELHAS, L.R. **AGROMETEOROLOGIA: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Edição Agropecuária, 2002. p. 478.

POERSCH, N.L.; FRANÇA FILHO, L.R.T.; MIGUEL, E.P.; MIGUEL DA CRUZ, G.H.; FRANCISQUETTE, K.L.; CAVALHEIRO, S.B. Influence of climate variables in the initial growth of *Corymbia citriodora* and different species of *eucalyptus*. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, p. 1452–1464, 2017.

Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. **MapBiomás Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/map/colecao-6/>>. Acesso em: 07 jun. de 2022.

RAMALHO, A. H. C.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; Maffioletti, F. D.; PELUZIO, T. M. O, CARMO, F. C. A, SILVA, E. F.; MOREIRA, T. R.; AND LACERDA, L. C. Fuzzy logic applied in the prospecting of suitable areas for the establishment of commercial forest plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, v.52, n.7, p.1042-1059, 2022.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F. de; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. ***Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. v.57 p.255.

SANTOS, F. K.; PANACHUKI, E.; MONTEIRO, F. N.; MENEZES, R. S.; RODRIGUES, D. B.; SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, v.8, n.2, p.124-130, 2020.

SANTOS, A. R.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H.; FREITAS, D. F.; PEREIRA J. R, O.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SCHERER, R. GIS applied to agr climatological zoning and agrotxin residue monitoring in tomatoes: A case study in Espírito Santo state, Brazil. **Journal of environmental management**, v.166, p.429-439, 2016.

SANTOS, H.G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5a ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. p. 82 – 84 – 96.

SILVA, J. C.; XAVIER, B. A.; **Eucalipto: manual prático do fazendeiro florestal, produzindo madeira com qualidade**. Viçosa, MG, 2006. p.65.

SILVA, S. F. **Risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas aptas para o cultivo do eucalipto no estado do Espírito Santo**. Monografia. Relatório Final (Pós-Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Espírito Santo. 2018.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECILIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento Agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, p. 203-216, 2010.

WIERSEMA, J. H.; LEÓN, B. **World Economic Plants: a standard reference**. Londres: CRC Press. 2a ed, 2016, 1336p.

Capítulo 2

Caracterização física do solo sob cultivos de cacau, cravo-da-índia e seringueira

Caracterização física do solo sob cultivos de cacau, cravo-da-índia e seringueira

RESUMO: É de fundamental importância a avaliação dos atributos físicos do solo em agroecossistemas, por meio de avaliações comparativas e de verificação das ações do manejo sobre os níveis de degradação e de qualidade do solo. Neste sentido, o estudo foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o efeito do cultivo de cacau, cravo e seringueira, cultivados de forma isolada ou em consórcio, nos atributos físicos de um Argissolo Amarelo na região do Baixo Sul da Bahia. O experimento foi desenvolvido no município de Camamu, BA, onde foram selecionadas cinco áreas, com sistemas de uso e manejo do solo diferentes: área 1 - Cravo com 30 anos de plantio, sendo nas entrelinhas plantados cacau há 8 anos; área 2 - seringueira com 13 anos de plantio, tendo nas entrelinhas plantio de cacau com 8 anos; área 3 - seringueira com 8 anos de plantio e nas entrelinhas plantio de cacau com 6 anos; área 4 - seringueira com 8 anos de plantio, sem cultivo nas entrelinhas e; área 5 - mata nativa tomada como referência. As coletas de amostras deformadas e indeformadas de solos foram realizadas em cada sistema de uso e manejo nas profundidades de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m. Os resultados obtidos mostraram que apesar do solo ter sofrido alterações pela ação dos cultivos, não causaram impactos para além do nível crítico em termos de densidade do solo e porosidade total que possam comprometer a qualidade física do solo. Os valores da resistência do solo a penetração nas áreas de seringueira + cacau, seringueira e mata nativa, apresentaram menores médias, diferindo estatisticamente dos outros sistemas de uso. Na avaliação da estabilidade de agregados, os menores que 1,0 mm mostraram-se em maior quantidade nas áreas sob cultivo de cacau + cravo e seringueira nova + cacau, em todas as profundidades estudadas, demonstrando uma menor qualidade física do solo nestes sistemas de uso e manejo do solo.

Palavras-chave: Manejo do Solo, Sistemas de cultivo, propriedades físicas do solo.

Chapter 2 - Physical attributes in yellow Argissolo under perennial crops of cocoa, carnation and rubber

ABSTRACT: It is of fundamental importance to evaluate the physical attributes of the soil in agroecosystems, by means of comparative assessments and verification of management actions on the levels of soil degradation and quality. With this in mind, the study was carried out with the aim of characterizing the effect of cocoa, clove and rubber tree cultivation, grown in isolation or in consortium, on the physical attributes of a Yellow Argissolo in the Southern Bahia Lowlands region. The experiment was carried out in the municipality of Camamu, BA, where five areas were selected with different land use and management systems: area 1 - Clove with 30 years of planting, with cocoa planted between the rows for 8 years; area 2 - rubber tree with 13 years of planting, with cocoa planted between the rows for 8 years; area 3 - rubber tree with 8 years of planting and 6 years of cocoa planting between the rows; area 4 - rubber tree with 8 years of planting, without cultivation between the rows and; area 5 - native forest taken as a reference. Deformed and undeformed soil samples were collected in each use and management system at depths of 0 - 0.10, 0.10 - 0.20 and 0.20 - 0.40 m. The results show that although the soil has changed as a result of the crops, they have not had any impact beyond the critical level in terms of soil density and total porosity that could compromise the soil's physical quality. The values of soil resistance to penetration in the areas of rubber tree + cocoa, rubber tree and native forest showed lower averages, differing statistically from the other use systems. In the assessment of aggregate stability, those smaller than 1.0 mm were found to be greater in the areas under cocoa + clove and new rubber + cocoa cultivation, at all depths studied, demonstrating the lower physical quality of the soil in these land use and management systems.

Keywords: Soil management, cropping systems, soil physical properties.

1.0 INTRODUÇÃO

Na avaliação sobre qual sistema de uso e manejo de solo é mais indicado aos modelos de produção conservacionistas é de fundamental importância a caracterização dos atributos do solo de forma a se identificar práticas sustentáveis e adequadas a manutenção da capacidade produtiva do solo (FREITAS et al., 2017; ARRUDA et al., 2018).

Dentre os impactos causados aos solos pelas atividades agropecuárias e florestais, as alterações nos atributos físicos destacam-se de forma negativa, devido, entre outros fatores, a pressão exercida pelos maquinários nas áreas agrícolas e florestais (SILVA et al., 2015; COLOMBO et al., 2017) e pisoteio animal nas áreas de pastagens, gerando consolidação natural chamada de efeito do empacotamento da estrutura (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A estrutura do solo é o atributo mais sensível (RESENDE et al., 2012), sendo os sistemas com preparo intensivo do solo aqueles que causam considerável perda da qualidade estrutural do solo, comprometendo, em especial, a porosidade total do solo, quando comparado a área sob vegetação nativa.

A avaliação de alguns atributos físicos do solo tem sido um procedimento necessário para a tomada de decisão e ou verificação das ações do manejo sobre os níveis de degradação e de qualidade do solo. Segundo Resende et al. (2012), os principais indicadores físicos do solo são a textura, densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração, estabilidade de agregados, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica.

Dentre os atributos físicos do solo, a densidade do solo, tem sido o indicador mais utilizados para diagnosticar o nível de degradação da qualidade,. De acordo com Mota et al. (2013) para um atributo ser considerado como indicador da qualidade do solo ele precisa ser sensível às alterações do manejo em que o solo está submetido, daí ser a densidade do solo e resistência à penetração atributos muito usados como indicadores da qualidade física do solo.

Na região sul e extremo sul do estado da Bahia, o uso do solo, principalmente na região dos Tabuleiros Costeiros, tem ocorrido de forma intensiva por pequenos e médios produtores, devido ao menor tamanho dos estabelecimentos rurais, quando comparado aos estabelecimentos rurais nas áreas de Cerrado. Com isso, o uso intensivo do solo, associado as práticas inadequadas

de manejo, além de não levar em consideração as particularidades edafoclimáticas locais, vem contribuindo de forma acelerada para a perda da qualidade produtiva dos solos, devido aos impactos causados nos atributos físicos, químicos e biológicos (COSTA; SOARES, 2016).

Uso do solo com espécies perenes em sistemas de cultivos isolados e consorciados, a exemplo dos sistemas agroflorestais (SAFs), embora seja uma das formas mais antigas de utilização nos solos da região sob cultivos de seringueira, cacau, cravo etc., tem sido pouco estudada, embora nos últimos anos venham recebendo maior atenção (ARAÚJO et al., 2015; COQUEIJO; LIMA; SILVA, 2022). Estudos mostram que o cultivo de culturas perenes em sistemas consorciados, a exemplo dos SAFs, são considerados práticas importantes para a recuperação de áreas degradadas e de conservação nos sistemas de produção agropecuários e florestais (SOUZA; RODRIGUES, 2013).

Por ser de fundamental importância o conhecimento dos atributos do solo em agroecossistemas, visando observar as mudanças derivadas das atividades agropecuárias e florestais através de análises comparativas entre agroecossistemas sobre a melhoria da qualidade do solo (OLIVEIRA et al., 2015; SOARES et al., 2016; BURGREVER et al., 2019), estudos comparativos de cultivos com culturas perenes como cacau, cravo e seringueira em sistemas consorciados e isolados na região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia permitirão identificar os que proporcionam as melhores condições físicas aos solos da região.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do cultivo de culturas de cacau, cravo e seringueira em cultivos isolados e consorciados sobre a qualidade física de um Argissolo Amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

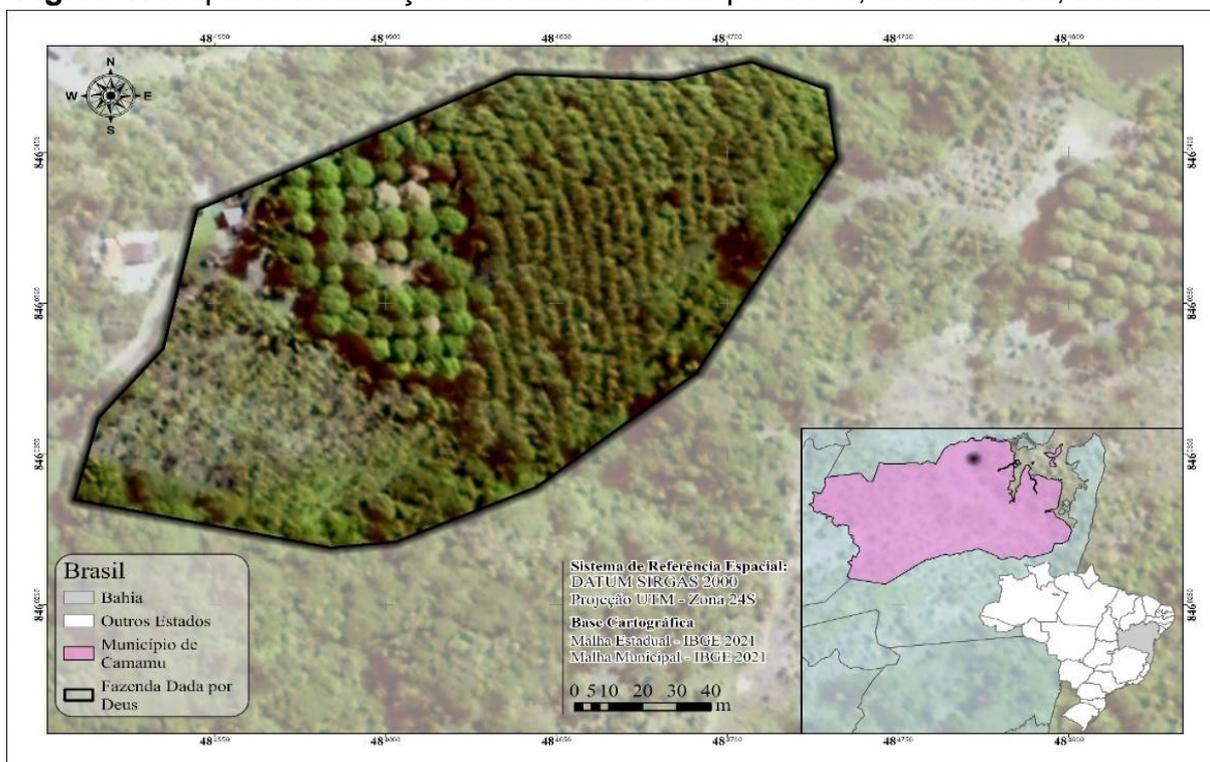
2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido município de Camamu-BA, cuja latitude é de 13°55'S, longitude 39°8'O e altitude média de 54 metros (Figura 1). O município faz parte da região do Baixo Sul da Bahia, na qual são encontradas significativas áreas de remanescentes de Mata Atlântica, dispondo de uma riqueza na fauna e flora (INÁCIO et al., 2007).

O solo da região é classificado como Argissolo Amarelo distrófico - PAd. A região segundo a classificação Koppen tem clima tipo Af, sem estação seca

(ALVARES et al., 2013). Realizou-se a coleta de solo entre os meses de maio e julho de 2022 e todas as análises físicas foram realizadas no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Na tabela 1 encontra-se os dados de granulometria para as áreas sob estudo.

Figura 1: Mapa de localização da Fazenda Dada por Deus, Camamu-Ba, Brasil.



Fonte: Thiago Martins

Tabela 1. Classificação textural e distribuição granulométrica das partículas de areia, silte e argila, em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.

Tratamento	Profundidade (m)		
	0 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40
% AREIA			
Cacau + Cravo	35,74	34,01	33,56
Seringueira Nova + Cacau	37,25	37,04	32,84
Seringueira + Cacau	40,34	41,2	37,82
Seringueira	34,27	34,62	32,39
% SILTE			
Cacau + Cravo	6,38	7,59	3,84
Seringueira Nova + Cacau	8,96	8,00	6,17
Seringueira + Cacau	14,46	11,35	10,96
Seringueira	16,90	14,89	11,77
% ARGILA			
Cacau + Cravo	57,88	58,41	62,60
Seringueira Nova + Cacau	53,79	54,95	60,99
Seringueira + Cacau	45,20	47,44	51,22
Seringueira	48,83	50,49	55,84

2.2. Tratamento e delineamento experimental

Para o estudo foram selecionadas cinco áreas, com sistemas de uso e manejo do solo diferentes: Área 1 - Cravo com 30 anos de plantio, sendo nas entrelinhas plantados cacau há 8 anos; Área 2 - Seringueira com 13 anos de plantio, tendo nas entrelinhas plantio de cacau com 8 anos; Área 3 - Seringueira com 8 anos de plantio e nas entrelinhas plantio de cacau com 6 anos; Área 4 - Seringueira com 8 anos de plantio, sem cultivo nas entrelinhas e; Área 5 - Mata Nativa tomada como referência.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial (5 x 3), com quatro repetições, no qual o fator 1 foram os sistemas de uso e manejo do solo e o fator 2 as profundidades de amostragem de solo.

2.3 Amostragem do solo e atributos avaliados

As coletas de solos foram realizadas nos meses de maio a julho de 2022. Em cada sistema de uso e manejo do solo foram abertas quatro trincheiras de 0,50 m de profundidade, para coleta de amostras deformadas (Figura 2) e indeformadas de solo (Figura 3). As amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 0,05 m de diâmetro e altura, nas profundidades de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.

Figura 2: Coleta de amostras de deformadas de solos nos diferentes sistemas de uso e manejo em Argissolo Amarelo do Sul da Bahia.



Autor: Thiago Martins

As amostras deformadas e para avaliação da estabilidade dos agregados foram coletadas no entorno das trincheiras com auxílio de uma enxada e trado e acondicionadas em sacos plásticos. As amostras foram secas ao ar, sendo parte destorroada e passada em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar

(TFSA).

Figura 3: Coleta de amostras de indeformadas de solos nos diferentes sistemas de uso e manejo em Argissolo Amarelo do Sul da Bahia



Autor: Thiago Martins

Os atributos avaliados e respectivas metodologias estão descritos a seguir.

- Granulometria

A determinação dos teores de areia, silte e argila foi feita pelo método da pipeta, segundo Teixeira et al. (2017). Utilizou-se 20g de solo (TFSA), e dispersão física com agitador de Wagner por 16:00hs e a dispersão química com hidróxido de sódio.

- Densidade do solo:

As amostras coletadas nos anéis cilindros foram secas em estufa a 105°C por 48 horas, para obtenção do peso seco do solo, sendo o valor de DS calculado:

$$Ds = \frac{ms}{V}$$

Em que:

Ds – densidade do solo, em g cm⁻³

ms – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

V – Volume do cilindro, em cm⁻³

- Porosidade total do solo:

A porosidade total foi determinada a partir da seguinte equação:

$$Pt = 1 - \left[\frac{Ds}{Dp} \right]$$

Em que:

Pt – porosidade total, em m³ m⁻³.

Ds – densidade do solo, em g cm⁻³

D_p = densidade de partícula (g/cm^3).

- Diâmetro médio ponderado e porcentagem de agregados

Para avaliação da estabilidade de agregados, adotou-se o tamisamento via úmida proposto por Yoder (1936). As amostras, foram coletadas nas trincheiras abertas no campo, com uso de pá reta, visando a retirada de torrões, que posteriormente foram secos ao ar e acondicionados em potes plásticos.

Após a secagem ao ar, os torrões foram cuidadosamente fracionados manualmente, sempre observando os pontos de fraqueza dos mesmos e passados nas peneiras com malhas de 4,76 e 2,00 mm. Para o tamisamento via úmida, utilizou-se 50 g de amostras de agregados saturadas em água por capilaridade sobre um papel filtro durante 16 horas, que foram tamisados por 15 minutos sobre uma sequência de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, com uma amplitude de 5,6 cm e frequência de 46 RPM. Como estimativa da estabilidade de agregados, adotou-se o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), segundo Kemper e Rosenau (1986):

$$\text{DMP} = \sum (x_i \times w_i) n_i = 1$$

onde:

x_i = % de agregados retidos em cada peneira;

w_i = diâmetro médio da fração (mm).

Para a porcentagem de agregados maiores que 2 mm estáveis em água ($\text{Agr} > 2$ mm, adotou-se a equação desenvolvida por Wendling et al. (2005), descrita na Eq.:

$$\text{Agr} = (W_u > 2) 100$$

onde:

W_u = proporção de agregados > 2 mm estáveis em água.

- Resistência do sola a Penetração

Para realização da análise de resistência a penetração, utilizou-se um penetrômetro de impacto para coleta de dados em quatro profundidades distintas, 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m, com cinco repetições cada. Com a obtenção do número de impactos dm^{-1} , a partir disso foi transformado em resistência dinâmica (MPa), adotou-se o cálculo da equação estabelecida por Stolf (1991):

$$R_p = 5,6 + 6,89 \times N$$

Onde: R_p = resistência do solo à penetração (kgf cm^{-2});

N = (impactos dm^{-1}).

E para converter a R_p em kgf cm^{-2} para MPa, multiplicou-se o resultado obtido pela constante 0,0980665.

$$MPa = R_p \times 0,0980665$$

2.4 Análises estatísticas

A normalidade dos dados foi testada por meio do teste Shapiro-Wilk. Os dados foram submetidos à análise de variância considerando-se um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial, com cinco tratamentos (sistema de manejo de uso do solo) e três profundidades (0,0 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m). Para comparação das médias foi utilizado o teste de Scott-knott a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R Studio.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo para as variáveis densidade do solo, porosidade total, porcentagem de agregados entre 4,76 – 2,00; 2,00 – 1,00; 1,00 – 0,50; 0,50 – 0,25; 0,25 – 0,105 e DMP de forma individual e em interação (Tabela 2).

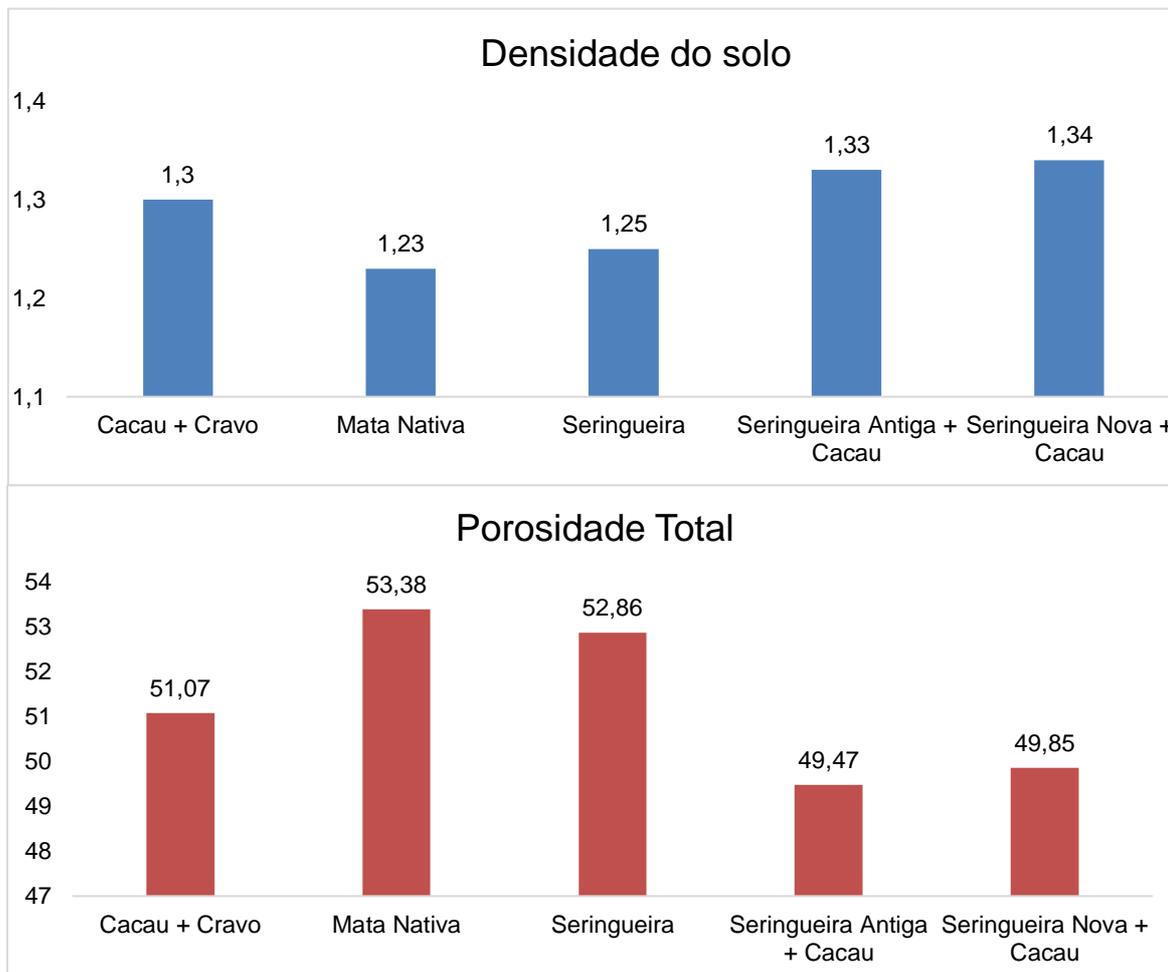
Tabela 2. Resumo da análise de variância para densidade do solo, porosidade total, distribuição do tamanho dos agregados e diâmetro médio ponderado dos agregados em cultivos perenes de cacau, cravo, seringueira e Mata Atlântica sob Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia.

FV	QMR						
	Ds	POT	2,00-1,00	1,00-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	DMP
Trat	0,025**	18,81**	14,449**	16,019**	13,659**	5,546**	0,477**
Prof	0,301**	336,81**	9,198**	11,710**	15,061**	5,171**	0,343**
TxP	0,004 ^{ns}	17,59 ^{ns}	1,127 ^{ns}	1,186 ^{ns}	0,960 ^{ns}	1,072 ^{ns}	0,040 ^{ns}

* e ** significativos a 5 e 1 %, respectivamente, e ns não-significativo

Para a densidade do solo e porosidade total foram verificados efeitos individuais dos cultivos e das profundidades (Tabela 2). Para a densidade do solo (Figura 4a) menores valores são observados nas áreas sob vegetação nativa de Mata Atlântica e seringueira, enquanto os maiores valores nas áreas sob consórcio de seringueira antiga e nova com cacau.

Figura 4. Avaliação comparativa de médias: 4a densidade do solo (g cm^{-3}) e 4b porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), em cultivos perenes de cacau, seringueira e cravo em Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia.



Fonte: Thiago Martins

A menor Densidade do Solo - D_s e os maiores valores da porosidade total foram observados nas áreas de mata nativa e seringueira, indicando melhores condições de porosidade do solo, no entanto, os valores entre as demais áreas foram próximos, demonstrando similaridades entre os demais sistemas estudados, sendo assim, é possível observar que as áreas sob cultivo afetaram a densidade do solo e densidade do solo de maneira semelhante, mantendo o solo com boas condições de aeração dos poros apesar dos diferentes sistemas de uso. Porém, a baixa intervenção antrópica nessas áreas com melhores condições de densidade do solo tem sido verificado em diferentes estudos, quando comparado à áreas sob cultivo (DEMARCHI et al., 2011; SUZUKI et al., 2012; MOTA et al., 2014; AREVALO-HERNANDEZ et al., 2016).

Arevalo-Hernandez et al. (2016), ao avaliar a qualidade física de um

Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com três sistemas agroflorestais em relação a vegetação nativa na região do Baixo-Sul da Bahia, observaram diferenças significativas entre profundidades e entre os diferentes usos do solo. Segundo os autores, a vegetação nativa de Mata Atlântica foi o sistema que manteve melhor a qualidade física do solo em relação aos outros tipos de cobertura do solo. Ainda segundo os autores, os valores de densidade do solo variaram entre 1,05 e 1,26 kg dm^{-3} , ou seja, abaixo do limite crítico de 1,55 kg dm^{-3} , sugerido por Reinert e Reichert et al. (2003). Os valores para Ds no presente estudo corroboram com os valores apresentados pelos autores, portanto independente do uso do solo, a densidade do solo não ultrapassa o limite crítico de densidade do solo destacado pelos autores. Embora diferenças estatísticas tenham sido encontradas no presente estudo, os cultivos de cacau, seringueira e cravo não causaram valores de densidade do solo e porosidade total limitantes a qualidade do solo.

Segundo Silva (2022), a Ds em argissolos seus resultados apresentaram todos os talhões estudados mostraram valores maiores nas camadas superficiais de 0-30 cm, em comparação com às camadas em profundidade de 30-60 cm, segundo a autora esse comportamento, provavelmente, interferiu nos valores mais altos de Ds das camadas superiores, visto que a textura do solo tem grande interferência nesse atributo. Souza et al. (2016), estudando solos da classe Argissolo Amarelo distrocoeso, verificaram que a diminuição do teor de areia e aumento do teor de argila em profundidade levaram ao aumento da Ds nos horizontes mais superficiais.

Suzuki et al. (2012) em sua pesquisa perceberam que a floresta diferiu estatisticamente em relação aos demais usos, no qual apresentou menor variação em densidade e macroporosidade. Evidenciando que as diferenças estão presentes até a camada de 40 cm, ou seja, indicando que as maiores alterações de uso apareceram camadas superiores. Ainda segundo os pesquisadores, o eucalipto com 20 anos de plantado e a área de floresta mostraram maiores valores de porosidade para todas as camadas analisadas, em virtude da menor intervenção humana, visto que ocorre o desenvolvimento e decomposição de raízes em maiores profundidades, além do aporte de matéria orgânica.

A resistência a penetração (RP) do solo, apresentou diferença significativa entre as áreas de cultivo, onde a vegetação nativa e os sistemas agroflorestais com seringueira+cacau e área de seringueira foram os sistemas de uso que mostraram

os menores valores para a RP em relação aos demais sistemas. Analisando apenas a camada superficial 0,00 – 0,10m, a área do consórcio cravo+cacau ficou maior valor de RP, com 3,27 MPa. Esse valor encontra-se muito acima do limite crítico de 2,0 MPa estabelecido por Tormena et al. (2002), que na camada superficial as plantas encontram limitações físicas no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, a área de seringueira+cacau obteve menor valor, 1,40 MPa, abaixo do limite crítico e a área sob mata nativa, seringueira nova+cacau e a seringueira ficaram tangenciando o valor de 2,0 MPa (Tabela 3).

Tabela 3. Avaliação comparativa de médias de resistência do solo à penetração (RP) em cultivos perenes de cacau, seringueira e cravo em Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia.

Tratamento	MPa
Cacau + Cravo	3,451 a
Seringa Nova + Cacau	2,858 b
Mata Nativa	2,544 c
Seringueira	2,512 c
Seringueira + Cacau	2,256 c

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

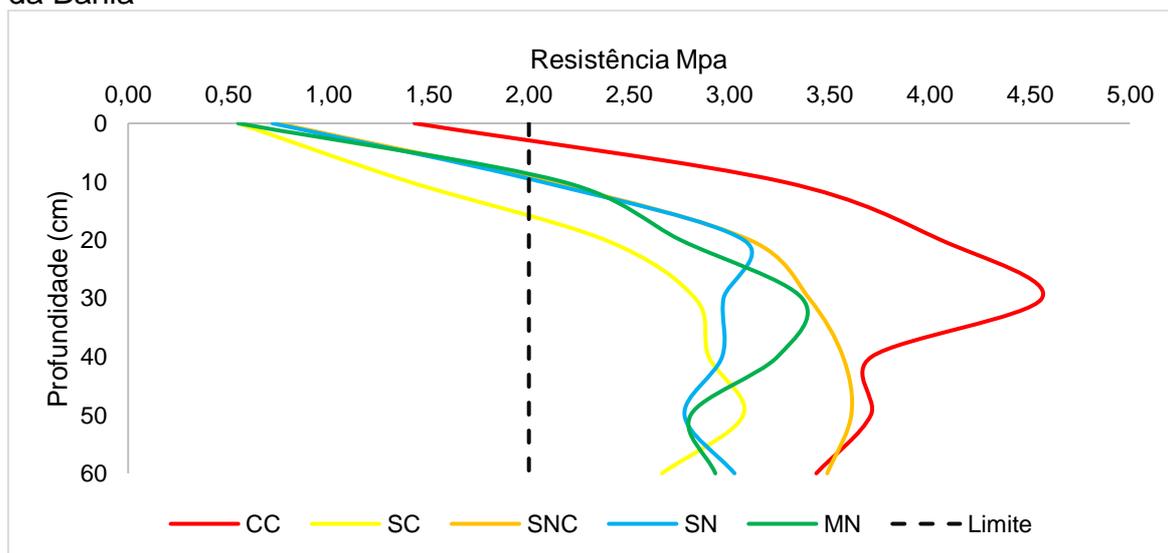
Desta forma, quase todas as médias para as profundidades de 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m alcançaram valores de RP muito acima do estabelecido como crítico, ou seja, maiores que 2,0 MPa (Figura 5). A umidade do solo é um fator que tem influência direta com a RP, sendo assim, para quase todos os sistemas de uso do solo, a umidade variou entre 29,12 a 42,55% (Tabela 4). Destaca-se ainda para os Latossolos e Argissolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, a ocorrência do caráter coeso, fato que aliado aos menores teores de umidade do solo na época da avaliação da RP pode explicar os valores mais elevados de RP no presente estudo.

Tabela 4. Valores de umidade gravimétrica (%) do solo em três profundidades em cultivos perenes de cacau, seringueira e cravo em Argissolo Amarelo do Baixo Sul da Bahia.

Tratamento	Profundidade (m)		
	0 - 0,20	0,20 – 0,40	0,40 – 0,60
Cacau + Cravo	35,49%	29,12%	29,58%
Mata Nativa	34,99%	34,59%	35,69%
Seringueira	42,55%	38,69%	38,21%
Seringa Nova + Cacau	36,77%	36,10%	38,25%
Seringueira + Cacau	38,02%	33,24%	32,23%

Da mesma forma, Arevalo-Hernandez et al. (2016), observaram diferenças significativas entre os diferentes tipos de uso do solo, porém não encontraram entre as profundidades, tendo a área de Mata Atlântica e o sistema cabruca de cupuaçu sido os sistemas que mostraram os menores valores na camada superficial (1,63 e 1,67 MPa), respectivamente. Segundo os autores, os resultados foram associados a grande presença de resíduo orgânico, os produtos da produção de biomassa, não somente produzidos pelas árvores, mas também pelos diferentes sistemas de uso MÜLLER; GAMMA-RODRIGUEZ (2012), refletindo diretamente no impacto da degradação e compactação desses solos.

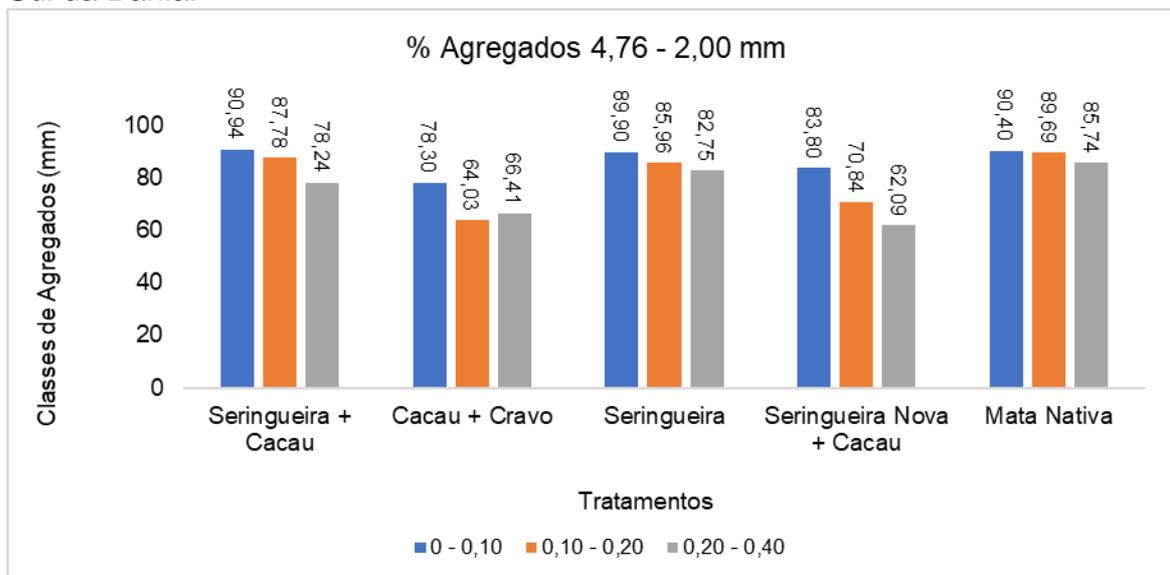
Figura 5. Avaliação comparativa de médias da resistência à penetração do solo (MPa) em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia



Fonte: Thiago Martins

Nas figuras 6 e 7 são apresentados os valores médios da porcentagem de agregados por classe de diâmetro, bem como o diâmetro médio ponderado em função dos cultivos perenes de cacau, cravo e seringueira.

Figura 6. Avaliação comparativa de médias de classes de agregados entre 4,76 - 2,00 mm em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia.

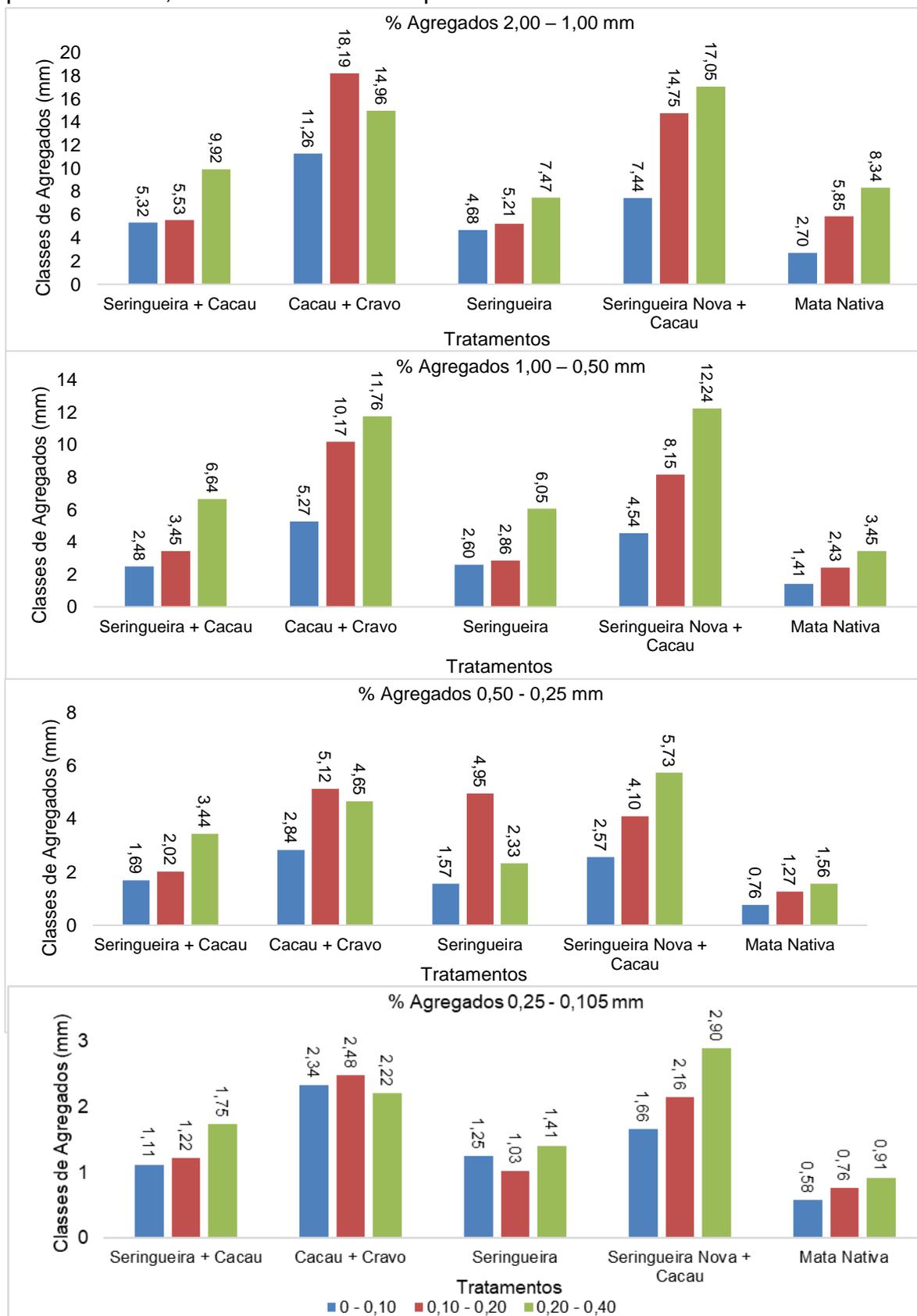


Fonte: Thiago Martins

Para a classe de agregados entre 4,76 e 2,00 há uma similaridade entre os valores nas áreas sob mata nativa, seringueira+cacau e seringueira nas profundidades de 0,0 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, bem como mais elevado que nos demais tratamentos, fato desejável já que agregados maiores que 2,0 mm, são mais sensíveis em relação ao uso e manejo do solo, pois servem como indicadores da qualidade física do solo. Destaca-se que agregados maiores podem facilitar a disponibilidade e o fluxo de água para os sistemas radiculares das plantas.

Os agregados menores que 2,00 mm (Figura 7) mostraram maior quantidade nas áreas sob cultivo, principalmente nas áreas de cacau+cravo, e seringueira nova + cacau, tanto na profundidade de 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, em relação a vegetação nativa e seringueira. Os agregados sob vegetação nativa, com agregados maiores e maior estabilidade conferem ao solo maior resistência a erosão hídrica. Por outro lado, deve ser destacado que, por se tratar as áreas sob cultivo de culturas perenes com sistema agroflorestal, como cacau, seringueira e cravo-da-índia, as mesmas proporcionam uma cobertura do solo por meio da deposição de folhas e galhos, contribuindo dessa forma para menores riscos de erosão.

Figura 7. Avaliação comparativa de médias de classes de agregados entre 2,00 – 1,00 mm; 1,00 – 0,50 mm; 0,50 – 0,25 mm e 0,25-0,105 mm em diferentes profundidades, sob sistemas cultivos perenes no Baixo Sul da Bahia

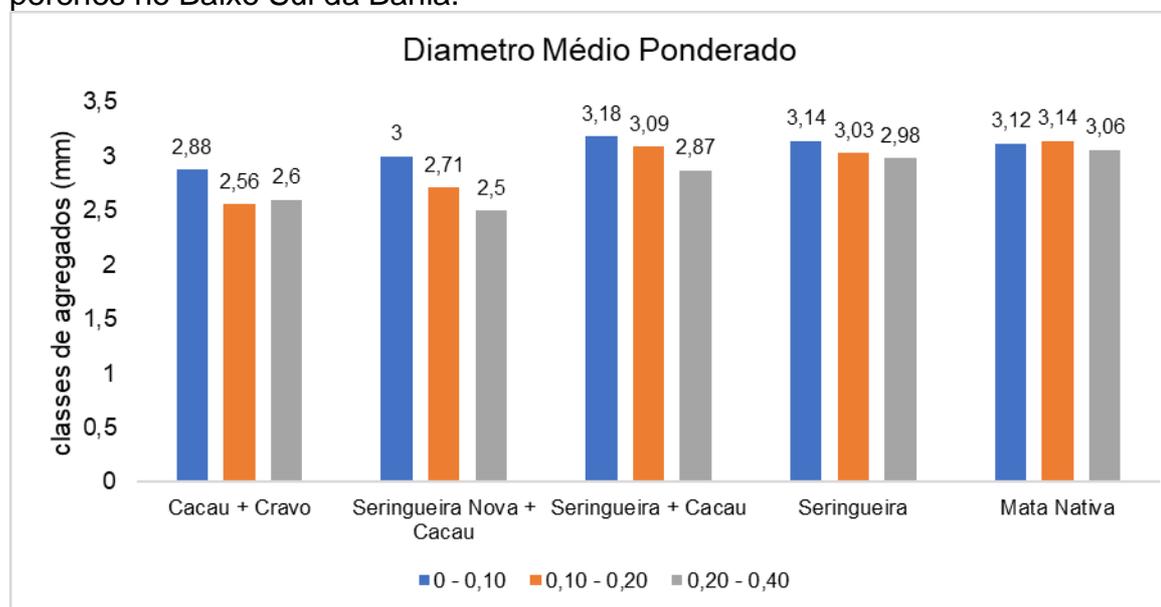


Fonte: Thiago Martins

Silva et al. (2014) ao avaliarem o efeito do uso do solo, verificaram agregados significativamente maiores nas áreas de vegetação nativa em todas as profundidades estudadas, em relação às demais áreas de pastagem e plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), devido, entre outros fatores, ao maior teor de matéria orgânica, ausência de mobilização do solo por implementos agrícolas e do pisoteio de animais presentes nas outras áreas.

O DMP também apresentou similaridade entre os valores para os sistemas de uso do solo com seringueira+cacau, seringueira e mata nativa e profundidades, bem como a superioridade desses sistemas em relação aos sistemas cacau + cravo e seringueira nova + cacau (Figura 8). Isso mostra a importância do uso dos sistemas agroflorestais, que além de gerar produtos agrícolas diversos como fonte de renda para os produtores, mantém as condições da qualidade física do solo próximas aos valores encontrados nas áreas sob vegetação nativa (Figura 8). Maiores valores de diâmetro médio ponderado em áreas sob vegetação nativa têm sido verificados por outros pesquisadores como; DEMARCHI et al. (2011); SILVA et al. (2014); AREVALO-HERNANDEZ et al. (2016).

Figura 8. Avaliação comparativa de médias do Diâmetro médio ponderado de agregado (DMP; mm), em diferentes profundidades, sob sistemas cultivados perenes no Baixo Sul da Bahia.



Fonte: Thiago Martins

No presente estudo pode-se verificar que a utilização do solo através dos diversos usos são capazes de perturbar a qualidade do solo e, por consequência,

a sustentabilidade dos agroecossistemas, como consequência da redução gradativa da qualidade do solo, devido ao menor aporte de matéria orgânica, cobertura vegetal e da exposição da superfície do solo (SOUZA et al., 2006). Entretanto, baseando-se nos resultados alcançados na presente pesquisa evidencia-se que o uso do solo com culturas perenes consegue manter a qualidade do solo de tal maneira que permanecem próximas aos sistemas sem interferência antrópica.

4.0 CONCLUSÕES

Apesar do solo ter sofrido alterações pela ação dos cultivos, não causaram impactos para além do nível crítico em termos de densidade do solo e porosidade total que possam comprometer a qualidade física do solo.

Os valores da resistência do solo a penetração mostraram-se menores nas áreas sob seringueira + cacau, seringueira e mata nativa, diferindo estatisticamente dos demais sistemas de uso do solo.

Na avaliação da estabilidade de agregados, os menores que 1,0 mm mostraram-se em maior quantidade, nas áreas sob cultivo com cacau + cravo e seringueira nova + cacau, em todas as profundidades estudadas.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AREVALO-HERNANDEZ, C. O.; PAIVA, A. Q.; MIZUKI, T.; JULIO A.; ALMEIDA, G.; UZÊDA, M. C.; MATOS, E. N. Aspectos físicos da qualidade do solo sob sistemas agroflorestais e pastagem no Sul da Bahia. **Agrotropica, Centro de Pesquisas do Cacau**, v.28, n.1, p.55 – 64, 2016.

ARAÚJO, A. C.; FILHO, A. C. V.; ARAÚJO, L. V.; MIDDLEJ, R. R.; VALLE, R. R. M. Análise financeira do sistema agroflorestal cacauzeiro com seringueira na mesorregião sul baiano. **Agrotropica, Centro de Pesquisas do Cacau**, v.27, n.1, p.15-18, 2015.

ARRUDA, L. E. V.; PORTELA, J. C.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, R. O.; MELO, S. B.; SOUZA, C. M. M.; LOPES, T. C. S.; MENDES, K. R. Chemical Attributes of an Oxisol Under Different Agricultural Uses in the Brazilian Semiarid Region. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.501, 2018.

BURGREVER, J. C.; FREITAS, F. F.; FISTAROL, T. A. F.; ARAÚJO, F. B.; JÚNIOR, G. D. F. S. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo-Alta Floresta. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 93-104, 2019.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. O. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Revista Campo Digital**, v.12, n.1, p.21-29, 2017.

COQUEIJO, S. L.; LIMA, G. F. C.; SILVA, E. Sistema agroflorestal vs agricultura convencional: Avaliação da sustentabilidade em dois agroecossistemas no Baixo Sul da Bahia. **Revista Agroecossistemas**, v. 14, n. 2, p. 45-66, 2022.

COSTA, F. M.; SOARES, N. S. Competitividade na cadeia produtiva do cacau na Bahia em diferentes sistemas de produção. In: **Cacau riqueza de pobres**. Ilhéus: Editus - Editora da UESC, 2016. p. 103-128

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.4, n.2, 2011.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, v.11, n.4, p.355–360, 2007.

MOTA, J. C. A.; ALVES, C. V. O.; FREIRE, A. G.; JÚNIOR, R. N. A. Uni and multivariate analysis of soil physical quality indicators of a Cambisol from Apodi Plateau - CE, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.140, p.66-73, 2014.

MOTA, J.C. A.; FREIRE, A. G; ASSIS Jr R.N.de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, 2013.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazonica**, v.45, n.1, p.1–12, 2015.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. URL <https://www.R-project.org/>.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v.27, n.2, p.29-48, 2003.

RESENDE, T. M.; DE MORAES, E. R.; FRANCO, F. O. ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; DA SILVA SANTOS, D.; RIBEIRO, B. T.. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

SILVA, N. B. N. **Resistência à penetração de raízes e sua relação com atributos**

físico-hídricos de solos cultivados com cana-de-açúcar na Zona da Mata pernambucana. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2022. Disponível em: http://ppeamb.ufrpe.br/sites/ppeamb.ufrpe.br/files/documentos/dissertacao_final_-_natalia_batista.pdf >. Acesso em 20 mar. 2023.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015.

SILVA, A. S.; SILVA I. F.; BANDEIRA L. B.; DIAS B. O.; NETO, L. F. S. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v.44, n.10, p.1783–9, 2014.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S.; CARDOSO, C.E.L. Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.51, n.12, p.1937-1947, 2016.

SOUZA, M.C.S.; RODRIGUES, F.C.M. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas em floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, v.37, n.1, p.89-98, 2013.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações de carbono, biomassa e atividade microbiana em um Latosso Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.3, p.323-329, 2006.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impactos em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.229-235, 1991.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Condição estrutural de um argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. **Ciência Florestal**, v22, n.4, p.833– 843, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3a ed revista e atualizada. EMBRAPA, 2017. p. 573.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, p795-801, 2002.

VEZZANI, F. M. MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência**

do Solo, v.35, p.213-223, 2011.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.