

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ADRINNA MORAIS COELHO DA SILVA

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREAS DE
FLORESTA NATIVA E SISTEMA AGROFLORESTAL NO MÉDIO AMAZONAS

ITACOATIARA - AM

2023

ADRINNA MORAIS COELHO DA SILVA

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREAS DE
FLORESTA NATIVA E SISTEMA AGROFLORESTAL NO MÉDIO AMAZONAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos

ITACOATIARA - AM

2023

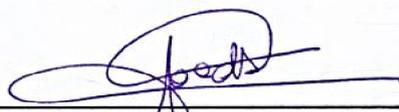
ADRINNA MORAIS COELHO DA SILVA

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREAS DE FLORESTA NATIVA E SISTEMA AGROFLORESTAL NO MÉDIO AMAZONAS

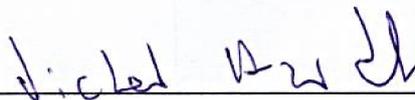
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 30 de março de 2023

BANCA EXAMINADORA



Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos
Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Orientador



Dr. Victor Alexandre Hardt Ferreira dos Santos
Universidade do Estado do Amazonas – UEA



Dr. Romário Pimenta Gomes
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Dedico, com muito amor, aos meus pais Raquel e Gutemberg, minhas referências de amor, por abdicarem de seus sonhos pelos meus, por toda dedicação e apoio e à minha eterna avó Maria (*in memoriam*), por estar comigo mesmo não estando aqui, a andorinha que foi capaz de fazer muitos verões sozinha.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por permanecer em minha vida mesmo nos momentos de murmúrio, me protegendo e dando sabedoria e discernimento para enfrentar os desafios da vida.

Aos meus pais Raquel Moraes e Gutemberg Coelho por toda segurança, amor, compreensão e palavras de incentivo em meus momentos de fraqueza, por serem minha base nessa trajetória, sem eles esse momento perduraria por mais tempo. Essa graduação é tanto minha quanto deles, por sempre me aconselharem, guiarem e mostrarem minhas forças nas horas de aflição, não me permitindo deixar a “peteca cair”.

À minha irmã caçula Beatriz, Bibiquinha da família, que é de humanas, ama ler e odeia Língua Portuguesa, pelos 15 anos de muitas risadas e estresses diários. A “aborrecente” mais incrível, meiga, carinhosa e talentosa que já conheci, o presente dado por Deus para alegrar e colorir meus dias.

À minha avó Maria (*in memoriam*) por todos os conhecimentos a mim passados e momentos compartilhados. Não existe mulher mais maravilhosa do que ela fora.

À minha fiel e companheira amiga Railza, por estar ao meu lado em todos os momentos e circunstâncias, pelos ralhos, abraços, risos e comilanças (nosso “rolê” preferido). Nesses últimos 5 anos compartilhamos muitas histórias boas e outras nem tanto, mas com o jeitinho da minha “índia Potira” tudo virou motivo de gargalhadas.

Ao meu namorado Júlio César, por estar ao meu lado (me estressando muito), me acolhendo e aconchegando quando eu só conseguia chorar, por todo amor e paciência, por aguentar minhas chatices e rir das minhas manias estranhas, por me mimar (e depois perguntar porque sou assim) e por me apoiar nessa fase tão importante da minha vida.

Ao meu professor orientador Luís Coutrim, por me receber no grupo de solos quando eu mal sabia o que queria fazer e por todos ensinamentos compartilhados. E por fim, a todos aqueles que de alguma forma e em algum momento estiveram comigo nessa caminhada. Layana, Tuane, Bruna, Sofia, Fernanda, Erika, Romário, Simeão, Alexandre, Noeme e todos os demais.

Minha eterna gratidão.

RESUMO

A intensificada emissão dos gases do efeito estufa (GEE) desencadeada pelo manejo e uso inadequado do solo resultou em drásticas mudanças climáticas e pode suscitar em escassez de recursos naturais dificultando a subsistência humana. Nesse parâmetro, a implementação de sistemas agroflorestais (SAF's) apresentam-se em destaque como mitigadores de distúrbios advindos dos GEE. Assim, o presente trabalho tem como objetivo determinar o teor de carbono orgânico do solo e avaliar o efeito da conversão de uso e manejo na capacidade do solo em estocar carbono orgânico, bem como verificar a variabilidade espacial da densidade do solo e do estoque de carbono na região do médio Amazonas. O estudo foi realizado no município de Silves-AM, com amostragens de campo em uma área de SAF e uma floresta nativa (FN), em três profundidades, de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em malhas amostrais e espaçamentos regulares. A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico e o carbono orgânico (CO) pela metodologia de oxidação por via úmida estimando estoque de carbono (EC) a partir do CO e da Ds para todas as camadas. Realizou-se análises geoestatísticas com a criação de mapas para cada fator analisado, por meio de semivariogramas. Para a comparação das áreas aplicouse o teste de Mann-Whitney a 5% de significância. A área de SAF apresentou menores Ds com valores respectivos de $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$, $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$ e $1,40 \text{ g.cm}^{-3}$, para as profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, enquanto na FN a Ds foi de $1,42 \text{ g.cm}^{-3}$, $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$ e $1,52 \text{ g.cm}^{-3}$. Os dois ambientes são estatisticamente semelhantes para os teores de CO nas três profundidades. O EC foi maior na FN em todas as camadas, sendo semelhante com o SAF apenas na profundidade de 10-20 cm. Os semivariogramas e mapas de krigagem demonstraram a variabilidade espacial entre os pontos dos atributos Ds e EC. Concluiu-se que o SAF apresentou eficiência sendo promissor para a estocagem de carbono, considerando que os menores resultados dos EC desse sistema são decorrentes das menores Ds. Os maiores EC e CO e os menores valores de Ds foram encontrados na profundidade superficial dos dois ambientes. O uso da krigagem para geração de mapas é vantajoso permitindo maior detalhamento e precisão do comportamento dos atributos analisados.

Palavras-chave: Sistema Silvicultural. Matéria Orgânica do Solo. Sequestro de carbono. Distribuição espacial. Solos Amazônicos.

ABSTRACT

The intensified emission of greenhouse gases (GHG) triggered by inadequate soil management and use has resulted in drastic climate changes and can lead to scarcity of natural resources, making human subsistence difficult. In this parameter, the implementation of agroforestry systems (SAF's) are highlighted as mitigating disturbances arising from GHG. Thus, the present work aims to determine the soil organic carbon content and to evaluate the effect of land use and management conversion on the soil's ability to store organic carbon, as well as to verify the spatial variability of soil density and carbon stock in the middle Amazon region. The study was carried out in the municipality of Silves-AM, with field sampling in an AFS area and a native forest (FN), at three depths, 0-10, 10-20 and 20-40 cm, in sample meshes and regular spacing. Soil bulk density (Ds) was determined by the volumetric ring method and CO by the wet oxidation method, estimating EC values from CO and Ds for all layers. Geostatistical analyzes were performed with the creation of maps for each analyzed factor, using semivariograms. To compare the areas, the Mann-Whitney test was applied at 5% significance level. The SAF area had lower Ds with respective values of 1.20 g.cm^{-3} , 1.41 g.cm^{-3} and 1.40 g.cm^{-3} , for depths 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm, while in NF the Ds was 1.42 g.cm^{-3} , 1.51 g.cm^{-3} and 1.52 g.cm^{-3} . The two environments are statistically similar for CO contents at the three depths. The EC was higher in the NF in all layers, being similar to the SAF only in the depth of 10-20 cm. The semivariograms and kriging maps demonstrated the spatial variability between the Ds and EC attribute points. It was concluded that the AFS showed efficiency, being promising for carbon storage, considering that the lowest EC results of this system are due to the lowest Ds. The highest EC and CO and lowest Ds values were found at the surface depth of both environments. The use of kriging to generate maps is advantageous for soil studies with greater detail and accuracy of the behavior of the analyzed attributes.

Keywords: Silvicultural System. Soil Organic Matter. Carbon sequestration. Spatial distribution. Amazonian soils.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1. Objetivos | 10 |
| 1.1.1. Objetivo geral..... | 11 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 11 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 12 |
| 2.1. Sistemas Agroflorestais na Amazônia | 12 |
| 2.1.1. Conceituação histórica | 12 |
| 2.2. Estoque de carbono orgânico (CO) em solos | 13 |
| 2.2.1. Contextualização e implicações | 13 |
| 2.2.2. Estoque de carbono em áreas nativas na Amazônia | 15 |
| 2.2.3. Estoque de carbono em áreas de SAF's | 15 |
| 2.2.4. Geoestatística aplicada ao estudo de solos | 16 |
| 3. METODOLOGIA | 18 |
| 3.1. Características gerais | 18 |
| 3.1.1. Caracterização do meio físico | 18 |
| 3.1.2. Caracterização da área de estudo..... | 18 |
| 3.1.3. Histórico da área..... | 19 |
| 3.2. Metodologia de campo | 20 |
| 3.3. Análises de laboratório | 22 |
| 3.3.1. Determinação da densidade do solo | 22 |
| 3.3.2. Determinação do carbono orgânico do solo | 23 |
| 3.3.3. Determinação do estoque de carbono do solo | 24 |
| 3.3.4. Análises complementares..... | 25 |
| 3.4. Análise estatística | 25 |
| 3.5. Análise geoestatística | 26 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 4.1. Análise Descritiva | 27 |
| 4.2. Densidade, Carbono Orgânico e Estoque de Carbono do solo | 28 |
| 4.3. Variabilidade Espacial | 32 |
| 5. CONCLUSÃO | 38 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |

1. INTRODUÇÃO

O fornecimento de serviços essenciais advindos dos recursos naturais (regulação, provisão, suporte e cultural), tem possibilitado, ao longo do tempo, a subsistência humana em decorrência da viabilização da interação com o meio ambiente, onde a oferta desses recursos possibilita a expansão e estabilização das sociedades e, conseqüentemente, a consolidação dos diversificados ramos industriais existentes proporcionando ainda, a potencialização de países, assim como o Brasil, na agricultura, considerada como uma das atividades humanas mais importantes (RODRIGUEZ, 2015).

A utilização contínua e desordenada desses recursos, adotada nas últimas décadas, considerando unicamente as necessidades e ambições humanas resultaram em múltiplos problemas ambientais, com desequilíbrio ecológico, perda de funcionalidades, transformações de paisagens naturais, degradação do solo, escassez de suprimentos e aumento da emissão de gases do efeito estufa (GEE) em quantias exorbitantes (NAIR, 1993; NOBRE et al., 2017).

Os distúrbios ambientais, desencadeados com o aumento populacional, fizeram surgir sistemas inovadores que fossem capazes de minimizar os impactos ambientais, permitindo o desenvolvimento tecnológico e social com a supressão dos problemas advindos da marginalização ambiental, a maximização dos recursos e a recuperação das propriedades do solo, além de solucionarem problemas de autonomia de mercado e agregação de valor dando viabilidade econômica para agricultores familiares (BOMBARDI, 2013; GOMES et al., 2017).

Dentro desse parâmetro a introdução de sistemas agroflorestais (SAF's) representa um avanço agrícola e continuidade de produção e uso da terra por serem sistemas produtores permanentes que combinam plantas lenhosas perenes com animais ou culturas agrícolas, em que ocorre interações simultâneas ou escalonadas entre os componentes presentes no sistema, obtendo benefícios ecológicos, econômicos e sociais, assegurando desenvolvimento agroecológico por intermédio de técnicas de manejo adequado havendo reduções de erosão e compactação do solo, lixiviação de nutrientes e diminuição do carbono atmosférico (CAMPOS et al., 2016; RIGHI, 2015; RODRIGUEZ, 2015).

Estudos realizados por Rocha et al. (2016), reiteram que os sistemas agroflorestais são considerados meios alternativos de produção com conservação da

biodiversidade refreando o aquecimento global devido a capacidade de capturar e armazenar carbono orgânico no solo, mitigar os efeitos das conversões de ecossistemas naturais e equilibrar as entradas e saídas do carbono no solo.

A agricultura itinerante e tradicionalmente difundida na região Amazônica é baseada na queima do material vegetal e resulta em elevadas quantias de carvão, ocasionando a elevação ou diminuição da fertilidade do solo (dependendo dos compostos e propriedades da vegetação e do solo). Esse manejo do solo vem sendo substituído gradativamente por sistemas mais ecológicos de associações de espécies, entretanto, o exercício da prática da agricultura de subsistência, criou alterações nas propriedades físico-químicas do solo e dificuldade na retenção de carbono (GOULART, 2020; LEAL, 2015; WANDELLI, 2000). Nesse contexto a determinação do estoque de carbono orgânico do solo (EC) permite averiguar a relação existente entre as propriedades e tipo do solo com a diminuição da concentração de CO₂ terrestre (MARQUES et al., 2013).

Em complemento a este estudo, tem-se a variabilidade espacial, ferramenta determinante na caracterização das propriedades do solo, dando embasamento para práticas de manejos mais precisas por considerar a desuniformidade das parcelas experimentais, permitindo avaliar desta forma, os efeitos dos usos sobre a qualidade do solo. O entendimento da heterogeneidade das características e propriedades do solo, e consequentes de diversos processos e interações complexas para sua formação, garantem uma potencialização no uso dos recursos e otimização de produtividade (DELARMELENA et al., 2022).

Diante do exposto, torna-se importante estudos que busquem avaliar os estoques de carbono no solo, uma vez que seus valores podem exercer influência sobre diversas variáveis do solo, provocando assim, alterações nos ecossistemas amazônicos que vêm apresentando aumento da emissão de CO₂ (CAMPOS et al., 2016). Desta forma, este estudo tem como objetivo estimar o estoque de carbono determinando o teor de CO presente no solo em áreas de floresta nativa (FN) e Sistema Agroflorestal (SAF) no médio Amazonas, caracterizando sua variabilidade espacial.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Determinar o teor de carbono orgânico do solo e avaliar o efeito da conversão de uso e manejo na capacidade do solo em estocar carbono orgânico, bem como verificar a variabilidade espacial da densidade do solo e do estoque de carbono na região do médio Amazonas.

1.1.2. Objetivos específicos

- i. Determinar e avaliar o teor de carbono orgânico e densidade do solo de áreas de floresta nativa e sistema agroflorestal;
- ii. Averiguar os impactos da implantação e utilização do SAF quanto a densidade do solo e ao estoque de carbono orgânico presente no solo;
- iii. Avaliar a dependência espacial dos atributos do solo estudados em áreas de sistema agroflorestal e floresta nativa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sistemas Agroflorestais na Amazônia

2.1.1. Conceituação histórica

A modificação da cobertura vegetal para introdução de outras atividades, tem ocasionado a diminuição da vegetação primária em nível mundial, gerando mudanças nas propriedades do solo, reduzindo os teores de matéria orgânica presentes nas camadas superficiais, afetando diretamente a disponibilidade de nutrientes e convertendo o solo a um estado de degradação (MOLINE; COUTINHO, 2015). Dentro desse cenário de utilização intensiva dos recursos naturais, a preocupação com a região Amazônia, por seu espectro ecológico e social foi convulsionada fazendo com que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realizasse, desde a década de 1980, o monitoramento do desmatamento na Amazônia brasileira (JÚNIOR et al., 2009).

A acentuada linha de pesquisa sobre a inserção dos SAF's na Amazônia se deu a partir dos anos 80 com a sistematização das análises feitas por várias instituições, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Comissão Executiva da Lavoura Cacaueira (Ceplac), Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e a Coordenação de Pesquisas em Ciências Agrônômicas (CPCA) (DUBOIS et al., 1996; apud RODRIGUES; ROSÁRIO; BRILHANTE; 2014).

A evolução de metodologias agrobiodiversas e o conseqüente aumento da complexidade de sua incorporação advém da necessidade da especificação de planejamento, condições edafoclimáticas, interações entre espécies, potencial produtivo e dimensionamento da área e outros atributos, quando bem manejados (MARTINELLI et al., 2019).

As variações tecnológicas disponibilizam diversificadas metodologias, onde o SAF é uma alternativa sistematizada e viável economicamente por ser um método de uso e conservação da terra, além de oferecer benefícios econômicos e ecossociais por meio da utilização combinada de espécies arbóreas com cultivo agrícola e/ou criação animal, além de suprir as necessidades ambientais (IPOEMA, 2016; SOUZA; VIEIRA, 2017).

As percepções desenvolvidas por Sousa et al. (2012), ratificam a viabilidade da introdução dos SAF's na Amazônia e afirmam que o sistema dispõe de uma interação

efetiva entre economia, ambiente e sociedade. Sousa et al. (2021) reiteram os benefícios da aplicação de SAF's nas áreas desmatadas e veem esses sistemas como uma solução para as implicações correlacionadas ao desmatamento/produção de alimentos e conservação florestal.

Os solos amazônicos são caracterizados por apresentarem baixa fertilidade, onde a abundância da sua biodiversidade se dá em torno de um processo de ciclagem de nutrientes em que as árvores contribuem para a atividade biológica e conservação do solo devido ao equilíbrio existentes entre os processos biogeoquímicos e a cobertura vegetal (MOLINE; COUTINHO, 2015; SOUSA et al., 2021).

A retirada dessa cobertura vegetal, principalmente, nas décadas de 1980, 1990 e 2000, que seriam destinadas para cultivos e pastagens, resultou em abandono de terras, aumento de áreas degradadas (ALMEIDA, 2016; ROJAS et al., 2016) e uma extensa área territorial desmatada, estimada em mais de 700 mil km², principalmente no conhecido “arco do desmatamento” (CAMPOS et al., 2015; INPE, 2020).

A agrofloresta teve sua definição originada a partir da agricultura sintrópica e de sua aplicação, que visa realizar a recuperação da fertilidade do solo, restaurar florestas secundárias e restaurar áreas degradadas minimizando os impactos de atividades agrícolas ou pecuárias, maximizando a produtividade e preservando florestas nativas (AGENDA GOTSCH, 2018; EMBRAPA, 2014; FERNANDES; NAIR, 1986).

A diversidade de espécies encontradas dentro de um SAF, juntamente com suas interações, garante a eficiência do sistema, em decorrência da possibilidade de uma produção sustentável sem que haja a retirada da cobertura vegetal (MAPA, 2021). Contudo, a boa empregabilidade dos SAF's está condicionada a escolha das espécies vegetais cultivadas, das condições do solo do sítio e características ambientais do local selecionado para a implantação do sistema (COUTO; et al., 2016; FRANKE et al., 1998).

2.2. Estoque de carbono orgânico (CO) em solos

2.2.1. Contextualização e implicações

A presença de vegetação atenua a degradação natural, proporciona inúmeros benefícios, auxilia na conservação do solo e minimiza os impactos decorrentes das ações antrópicas (COSTA, 2015). Gonçalves (2021) afirma que os povos antigos

possuíam um sistema alimentar agroecológico e biodiverso, baseado na interação ecossistemática com desenvolvimento de agricultura sustentável. Todavia, essa cadeia produtiva começou a ser freada com a chegada dos colonizadores portugueses que disseminaram a exploração do pau-brasil (*Paubrasilia echinata* Lam.) e consolidaram diversificados ciclos agroeconômicos como do açúcar e do café (*Coffea* sp.) que foram utilizados como pressupostos para a retirada da vegetação nativa e degradação desenfreada do solo (GARCIA; ROMEIRA, 2021; KUCHLER; 2021; ROMEIRO, 1998).

Solerno (2021) explica que a incorporação de processos industriais ao campo, a partir de 1970, consolidou práticas agropecuárias com intensivo uso de agrotóxicos e de fertilizantes químicos que culminaram em múltiplos problemas ambientais e sociais. Segundo a mesma autora a concentração de mercado desse setor, decorrente do controle pelos grandes latifundiários, fez ressurgir diversas formas de agricultura que conseguissem suprir necessidades básicas e fossem economicamente viáveis.

Essa visão desenvolvimentista resultou em retrocessos ambientais e problemas climáticos, reduzindo a estocagem de carbono (ROMEIRO, 2016), fazendo com que houvesse uma mudança de perspectiva e levando o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a implementar o plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono), projeto criado pelo Brasil em 2010, com o intuito de reduzir a emissão de gases do efeito estufa (GEE) e moldar o setor agropecuário às mudanças climáticas (KUCHLER, 2021).

O entendimento e conhecimento da reserva de carbono do solo provém do fato deste composto possuir um reservatório duas vezes maior que o carbono atmosférico e até três vezes maior do que o presente nas vegetações, além de estar conexo com as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (SCHARLEMAN et al., 2014; SMITH et al., 1997).

Embora existam dados com demonstrativos anuais a respeito dos teores de C em nível global, faz-se importante o conhecimento em escala regional (MELO et al. 2018), conseqüentemente, as pesquisas voltadas para o entendimento da dinâmica e estoque de carbono no meio terrestre têm se tornado significativas para a caracterização da variabilidade espacial do carbono orgânico, decorrente do expressivo aumento de CO₂ na atmosfera e em prol do manejo sustentável (MARQUES et al., 2012; SONG; ZHANG; WANG, 2014).

2.2.2. Estoque de carbono em áreas nativas na Amazônia

A exuberância amazônica passou a sofrer pressão direta da agricultura e pecuária por estar em área de fronteira agrícola, onde a migração espacial dessas atividades econômicas do sul do país para as regiões Centro-oeste e Norte se intensificaram de forma desenfreada (BARONA et al., 2010; COUTO et al., 2016). De acordo com estudos de Azevedo et al. (2018) e com o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023), a mudança de uso da terra é um dos maiores emissores dos GEE no país.

A interação floresta/solo proporciona diversificados serviços sociais como, por exemplo, participação nos ciclos do carbono e da água e controle de temperatura (CANUTO; URCHEI; CAMARGO, 2017). Assim, a Amazônia possui significância nessa temática em consequência de processos biogeoquímicos de carbono relacionados diretamente as formas de uso da terra, desempenhando papel como fonte ou sumidouros dos GEE's (IPCC, 2019; MARQUES et al., 2013) por suas características, tamanho e processos (IPCC, 2007; IPCC, 2019).

A cobertura vegetal é imprescindível para a manutenção e proteção do solo restando a degradação e processos erosivos fortemente atrelados as condições de clima da região (HIGUCHI et al., 2012). A ciclagem de nutrientes produz benefícios ambientais e consolida a relação entre conservação do solo e vegetação (FREITAS et al., 2017). Costa et al. (2005) exemplificam a influência do material orgânico (serrapilheira, raízes, biomassa) destacando a importância que esses elementos possuem na estocagem e fixação de carbono orgânico no solo.

Freitas et al. (2018) afirmam a existência de equilíbrio dinâmico dos teores de carbono nas áreas de florestas nativas, em que o C se apresenta com entradas e saídas balanceadas do solo, com desenvolvimento radicular e baixo nível de compactação.

2.2.3. Estoque de carbono em áreas de SAF's

Na redução do teor de carbono orgânico no solo, consequentes da conversão de ecossistemas nativos e ou por fatores de degradação naturais ou antrópicos, processos como a erosão, decomposição acelerada da matéria orgânica e redução de aporte, vêm alterando drasticamente a dinâmica do carbono no solo devido aos usos e manejo errôneos (CAMPOS et al., 2016).

As avaliações que ocorrem no solo depois da modificação da paisagem original para agroecossistemas na Amazônia têm gerado informações significativas demonstrando as transformações nas propriedades químicas e físicas do solo e a curva expressiva de estoque de carbono que, a priori, diminui com a inserção dos SAF's e se eleva conforme o estabelecimento do sistema, podendo chegar a valores contíguos ou excedentes aos de áreas nativas (AQUINO et al., 2016). Contudo, faz-se necessário mais estudos sobre o comportamento do CO no solo e metodologias de campo padronizadas, a fim de se obter resultados mais precisos e confiáveis para comparação quanto aos estoques em profundidades em diferentes usos do solo (FREITAS, 2013; ROMÃO, 2023).

2.2.4. Geoestatística aplicada ao estudo de solos

A busca de conhecimento da variabilidade espacial a respeito das características do solo, visando o uso adequado, faz-se cada vez mais necessária. Esse ramo permite que a modelagem geoespacial descreva quantitativamente a variabilidade espacial dos atributos do solo excluindo estimativa tendenciosa de valores em pontos não amostrados. Sendo uma importante ferramenta na caracterização e mapeamento de atributos dos solos (DELARMELINA et al., 2022; KUMAR et al., 2012).

Deste modo, devem-se seguir algumas etapas iniciando pelo estabelecimento da malha amostral, onde a coleta de solo deve ser realizada de forma esquemática nos pontos de interseção da malha, tendo cada ponto amostral georreferenciado com o uso de GPS, seguindo para a interpolação dos dados que infere os valores nas áreas não amostradas com o uso de programas para modelagem e ajuste dos dados, sendo esta uma fase primordial na distribuição espacial das características da variável analisada (BEHRENS et al., 2014; DELARMELINA et al., 2022).

O ajuste dos modelos de semivariogramas apresentam variabilidade específica sendo feito de acordo com as características das variáveis analisadas. Os modelos matemáticos gaussiano, exponencial e esférico são os mais utilizados em estudos de solos, inclusive para os teores de carbono orgânico do solo (PANOSSO et al., 2008; GOMES, 2015; SILVA et al., 2018), preferencializando os dois últimos citados, por se mostrarem como os modelos teóricos comumente utilizados nos atributos do solo (McBRATNEY; WEBSTER 1986). Cabe mencionar que os modelos exponenciais descrevem os fenômenos mais erráticos na pequena escala, enquanto os modelos

esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

O mapeamento do solo em ambientes amazônicos aplicando a geoestatística vem sendo utilizado na região sul do Amazonas há anos. Exemplificando os estudos espaciais em relação ao carbono do solo, nos últimos anos, tem-se os trabalhos de Silva et al. (2018) com emissão de CO₂ em área de pastagem e Gomes et al. (2017; 2018) estudando a relação dos agregados e do carbono orgânico em áreas de terra preta arqueológica sob diferentes usos. Desde modo, a geoestatística é uma ferramenta mais precisa e inovadora, com alto potencial para uso em estudos de solos na região amazônica.

3. METODOLOGIA

3.1. Características gerais

3.1.1. Caracterização do meio físico

O município de Silves, AM está localizado à margem esquerda da bacia do médio Amazonas, distante da capital amazonense 204 Km por via terrestre, percurso feito pela rodovia estadual AM-010 (OLIVEIRA 2007), pertencente a mesorregião do médio Amazonas localizado ao leste do Estado do Amazonas (IBGE, 2010), tendo seus limites territoriais com os municípios de Itacoatiara, Itapiranga e Urucurituba (FARIA, 2010).

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Af tropical úmido, tendo precipitação anual abundante ultrapassando 2.000 mm e temperatura média anual de 27 °C em que, devido à alta precipitação, a estação seca é de pequena duração e a vegetação predominante é de Floresta Ombrófila Densa (ALVARES et al., 2014, CLIMATE-DATA, 2023). Apresenta relevo plano descrito como Planície Aluvial e formação do relevo denominado como “platô” e as classes de solos preponderantes são: Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2003; SILVA, 2003).

3.1.2. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado no município de Silves-AM, em propriedade situada à margem esquerda da rodovia estadual AM-363, em duas áreas contíguas, uma (1) de floresta nativa com extensão aproximada de 180 metros e uma (1) com implantação de sistema agroflorestal (Figura 1), com aproximadamente 300 metros de extensão. As duas áreas de coleta fazem parte do Sítio Estrada da Vida localizado no Km 57, em frente a Estrada de Várzea, Silves-AM.

O solo característico da região é do tipo Latossolo Amarelo, possuindo boa drenagem, sendo profundo, ácido e, majoritariamente com baixa fertilidade natural. A floresta é classificada como Floresta Tropical Densa (CASTRO, 2021; IBGE, 2015; RADAM, 1976; SILVA, 2005;).

Amazônia S.A (BASA) e implementado pela CEPLAC que tinha como objetivo principal a introdução de *Theobroma cacao* L.(cacau).

No ano do plantio foi realizada adubação orgânica com esterco bovino e aplicado o fertilizante superfosfato triplo um ano depois. Assim como a cultura da mandioca, o cacau não apresentou bom estabelecimento, consolidando na área espécies nativas da região destacando-se *B. excelsa*, *Carapa guianensis* Aubl., e *Euterpe oleracea* Mart. (açai), onde as duas últimas apresentam, respectivamente, extração artesanal do óleo e polpa para consumo e comercialização na comunidade, onde o sistema possui atualmente função de proteção e recuperação da área desmatada para o cultivo da mandioca, possuindo característica de vegetação do tipo “capoeira”, com limpeza da área feita com queima e roçagem do material vegetal.

3.2. Metodologia de campo

Para cada ambiente de estudo foi delimitado uma parcela com dimensionamento pré-estabelecido em malha representativa de 70x70m, com espaçamentos de 10 metros e realização das amostragens nos pontos de cruzamento das malhas totalizando, desse modo, 64 pontos amostrais (Figura 2).

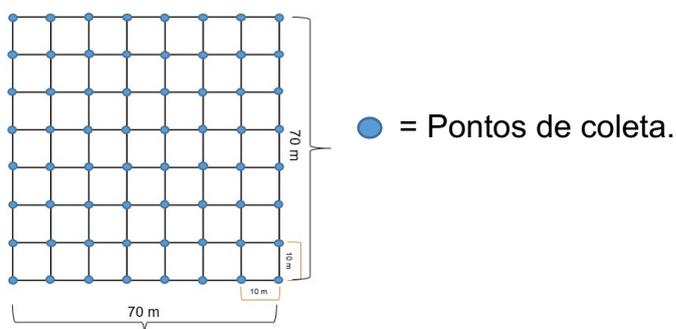


Figura 2 – Esquema ilustrativo da metragem da malha.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta iniciou-se com a abertura de mini trincheiras com 50 cm de profundidade (Figura 3A) em cada ponto amostral, para coleta das amostras de solo em três (3) profundidade distintas (Figura 4), de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, totalizando 192 amostragens por área em estruturas preservadas por anéis (Figura 3B) e deformadas. Os pontos de interseção foram georreferenciados com equipamento de GPS (Figura 3C) para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).



Figura 3: Etapas da coleta das amostras preservadas: (A) Abertura de mini trincheira; (B) Coleta de solo com a estrutura preservada em anel volumétrico; (C) Georreferenciamento com equipamento GPS. Fonte: Arquivo pessoal.

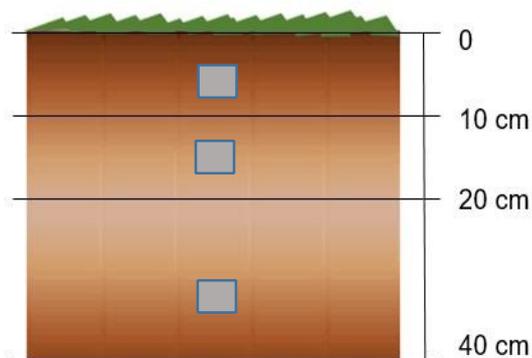


Figura 4: Ilustração da técnica de coleta. Em cinza tem-se as coletadas com anéis. Fonte: Autor, 2023.

O solo foi preparado seguindo os processos de: secagem à sombra (Figura 5A), destorroamento (Figura 5B), e passagem em peneiras de 2 mm (Figura 5C), para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), para proceder com as análises laboratoriais.



Figura 5: Processo para obtenção de TFSA: (A) Secagem do solo ao ar; (B) Destorroamento das amostras; (C) Peneiramento do solo destorroado. Fonte: Arquivo pessoal.

3.3. Análises de laboratório

As amostras de TFSA foram levadas para o Laboratório de Química e Solos do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas (CESIT/UEA), para pesagem e preparo de acordo com cada metodologia préestabelecida.

3.3.1. Determinação da densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo (D_s), utilizou-se as amostras contidas nos anéis volumétricos, com volume conhecido, preservando sua estrutura. Em seguida, as amostras foram postas para secar em estufa com temperatura de $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ até obtenção de massa constante (Figura 6), seguindo a equação (1) descrita por Fontana et al. (2017).

$$D_s = m/v \quad (1)$$

Em que:

D_s = densidade aparente do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$);

m = massa seca do solo (g);

v = volume interno do anel (cm^3).

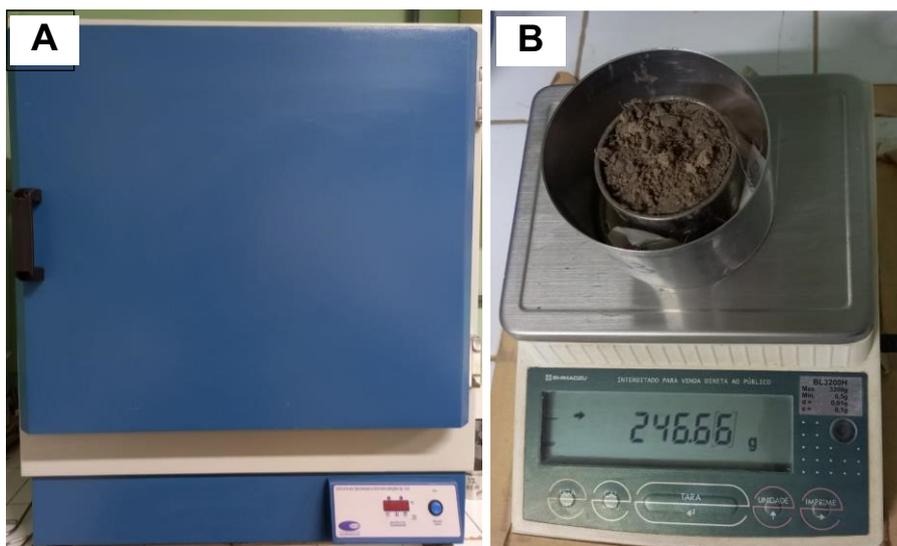


Figura 6: Etapas para a determinação da densidade do solo: (A) Secagem em estufa; (B) Pesagem das amostras.

Fonte: Arquivo pessoal.

3.3.2. Determinação do carbono orgânico do solo

Para determinação do carbono orgânico total (COT) do solo adotou-se a metodologia desenvolvida por Walkley-Black e modificada por Yeomans e Bremner (1988), com acréscimo da presença externa de calor, na qual se realiza a oxidação do carbono por via úmida, usando solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) $0,667 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico.

Inicialmente foi macerado 2g da TFSA, passando em peneira de 80 *mesh* e pesando, posteriormente $0,250\text{g}^1$ de solo macerado para a primeira profundidade e $0,500\text{g}$ para as demais, em erlenmeyer de 250 mL, acrescentando 10 mL do dicromato de potássio e levando para chapa aquecedora a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 minutos (Figura 7).

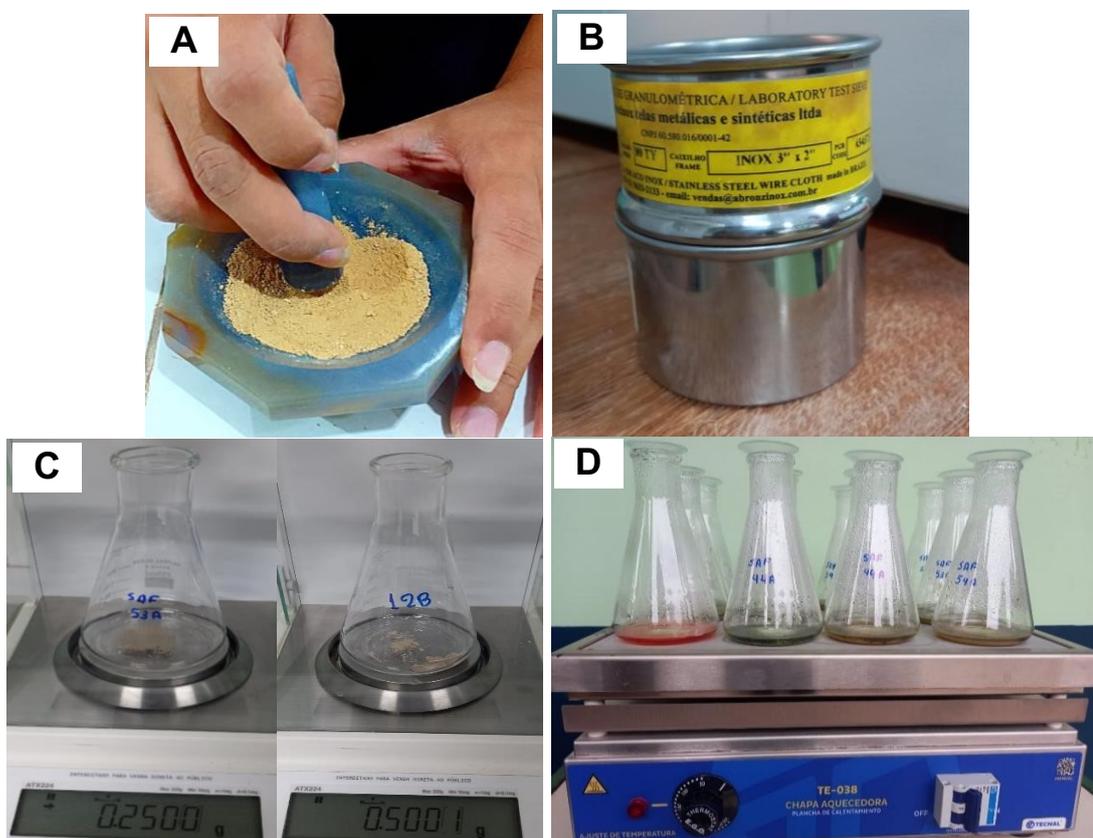


Figura 7: Etapas para a determinação do carbono orgânico do solo: (A) Maceração das amostras de TFSA; (B); Peneiramento das amostras maceradas; (C) Pesagem das amostras; (D) Aquecimento para determinação do teor de CO.

Fonte: Arquivo pessoal.

¹ Considerando o maior teor de carbono no SAF (solos mais escuros), pesou-se 250g para todas as profundidades.

Após o resfriamento das amostras, adicionou-se de água destilada, ácido ortofosfórico e o indicador difenilamina para proceder com a titulação padrão com sulfato ferroso amoniacal $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ $0,102 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 8).

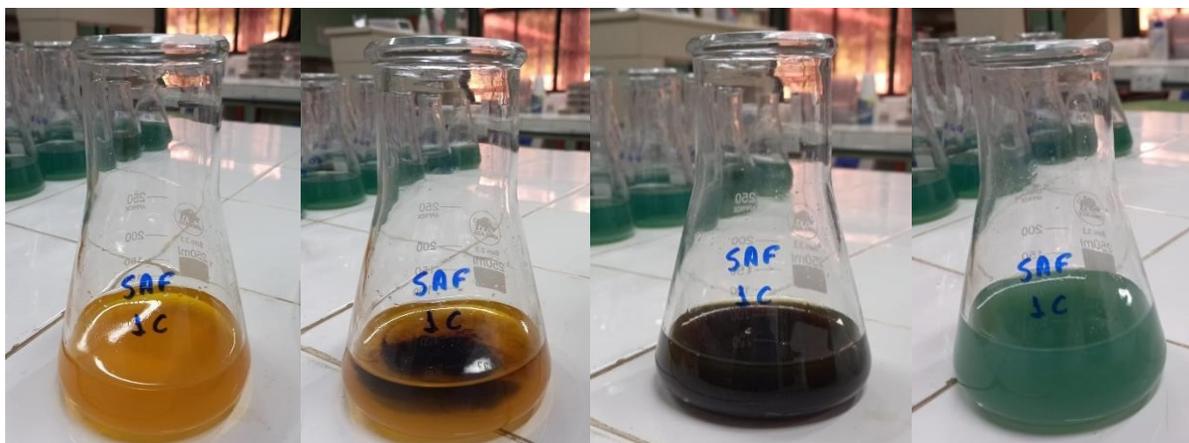


Figura 8: Etapas do processo de titulação das amostras (da esquerda para a direita) Fonte: Arquivo pessoal.

O teor de carbono orgânico seguiu a metodologia descrita por Fontana e Campos (2017), apresentada na equação 2:

$$\text{CO} = (0,003 \times \text{Vd} \times (40 - \text{Va}) \times 40 / \text{Vb}) \times 10 / m \quad (2)$$

Onde:

CO = concentração de carbono orgânico no solo (g kg^{-1});

Vd = volume total da solução de dicromato de potássio usado da amostra (mL);

Va = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra (mL);

Vb = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido (mL);

0,003 = miliequivalente da massa de carbono (peso atômico/valência – 12/4, dividido por 1.000);

10 = transformação de % para g kg^{-1} ;

m = massa da amostra de solo (g).

3.3.3. Determinação do estoque de carbono do solo

A estimativa do estoque de carbono (EC) das áreas se deu por meio de cálculos a partir da densidade do solo (Ds) e do carbono orgânico do solo (CO), para cada

camada amostrada, seguindo a metodologia de Veldkamp (1994), conforme a equação 3:

$$EC = (Ds \times h \times CO) / 10 \quad (3)$$

Em que:

EC = estoque de carbono ($Mg \cdot ha^{-1}$);

DS = densidade do solo ($g \cdot kg^{-1}$);

h = é a espessura da camada de solo amostrada (cm);

CO = teor de C orgânico total ($g \cdot kg^{-1}$).

3.3.4. Análises complementares

Foram realizadas análises físicas, mas não discutidas nesse trabalho, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados e possibilitar melhores entendimentos uma vez que os atributos do solo são influenciados por suas propriedades física, química e biológica.

Quadro 1: Análise Granulométrica – Textura do solo.

| Camada (cm) | Floresta Nativa | | | Sistema Agroflorestal | | |
|-------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Areia ($g \cdot Kg^{-1}$) | Argila ($g \cdot Kg^{-1}$) | Silte ($g \cdot Kg^{-1}$) | Areia ($g \cdot Kg^{-1}$) | Argila ($g \cdot Kg^{-1}$) | Silte ($g \cdot Kg^{-1}$) |
| 0-10 | 453,50 | 411,20 | 135,30 | 383,30 | 353,50 | 263,20 |
| 10-20 | 360,40 | 413,20 | 226,40 | 332,96 | 354,54 | 312,50 |
| 20-40 | 322,40 | 470,30 | 207,30 | 268,30 | 436,00 | 295,70 |

*Os valores são representados pela média de 64 amostras de solos.

Fonte: Autor, 2023.

3.4. Análise estatística

Os resultados de Ds, CO e EC foram submetidos à análise descritiva para obtenção dos valores de média, mediana, coeficiente de variação (CV%), coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, auxiliados pelo software Statística 7.

Observado a anormalidade em algumas variáveis adotou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney que realiza a comparação das medianas, a 5% de significância, e considera que este valor representa melhor o grupo de dados do que a média. Para manter um padrão nas análises o teste de Mann-Whitney foi utilizado em todas as variáveis considerando a independência quanto a normalidade.

3.5. Análise geoestatística

A análise geoestatística, sob teoria da hipótese intrínseca, de Isaaks e Srivastava (1989) foi utilizada como parâmetro para a caracterização da variabilidade espacial da Ds e EC utilizando o software GS+ versão 10, onde o semivariograma experimental estimado seguiu a equação 5.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} * \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (5)$$

em que:

$\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ;

$N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ;

$Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Os modelos matemáticos foram ajustados aos semiariogramas com base no número de pares envolvidos na estimativa da semivariância, na presença do patamar (BURROUGH; McDONNEL, 2000) e no coeficiente de determinação (R^2), onde quanto mais próximo de 1 for o R^2 melhor será os semivariogramas. O grau de dependência espacial (GDE) é obtido a partir da razão do efeito pepita (C_0) e do patamar do semivariograma (C_0+C_1) multiplicado por 100, obtendo resultado em porcentagem.

Para a análise do grau de dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), que adota GDE forte (< 25%), moderado (entre 25% a 75%) e fraco (> 75%). Após a modelagem estatística, os dados gerados foram interpolados por krigagem para fazer os mapas isolados utilizando o programa Surfer 13.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise Descritiva

Os resultados referentes a análise descritiva da densidade do solo (Ds), carbono orgânico (CO) e estoque de carbono orgânico do solo (EC) em área de floresta nativa (FN) e sistema agroflorestal (SAF) no médio Amazonas são apresentados na Tabela 1. Os resultados demonstrados para a Ds sugerem uma simetria nas duas áreas devido aos valores de média e mediana serem iguais ou aproximados, o que é confirmado pelos coeficientes de assimetria e curtose nas profundidades 0-10 cm e 10-20 da FN. Contudo, esses coeficientes retificam a normalidade dos dados considerada exclusivamente pelos valores de média e mediana na profundidade 20-40 cm da área de FN, assim como na primeira camada amostrada do SAF uma vez que estão dispostos de maneira assimétrica, não possuindo tendência central de assimetria próximas do 0 (CAMPOS et al, 2013).

As variáveis CO e EC da área de FN na profundidade de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, apresentam valores de assimetria e curtose distantes de zero, indicando a não normalidade dos dados analisados, sendo observado comportamento oposto na área de SAF. Os valores de assimetria e curtose são indicadores da distribuição dos dados, sendo mais sensíveis a valores extremos que a média e mediana, sendo que valores mais próximos de zero indicam normalidade dos dados (KAMIMURA et al., 2013). Portanto, os resultados do sistema SAF indica maior normalidade dos dados (Tabela 1).

O coeficiente de variação das variáveis do solo é classificado por WarrickNilsen (1980) como: baixo ($CV < 12\%$), médio ($12 < CV < 60\%$) e alto ($CV > 60\%$). Com exceção da camada de 0-10 cm do SAF que apresentou CV de 13,22% estando dentro da classificação média, os CV para densidade do solo variaram de 5,96 a 9,42% sendo enquadrados como baixos, enquanto que os coeficientes do CO, com variação de 19,69 a 29,77%, e EC, com variação de 18,43 a 29,63%, de ambas as áreas e nas três profundidades foram classificados como médios (Tabela 1).

Tabela 1: Análise descritiva da densidade do solo (Ds), carbono orgânico (CO) e estoque de carbono (EC) em área de floresta nativa e sistema agroflorestal no médio Amazonas.

| | FLORESTA NATIVA | | | SISTEMA AGROFLORESTAL | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| | Ds | CO | EC | Ds | CO | EC |
| | (g cm ⁻³) | (g Kg ⁻¹) | (Mg ha ⁻¹) | (g cm ⁻³) | (g Kg ⁻¹) | (Mg ha ⁻¹) |
| Profundidade 0-10 cm | | | | | | |
| Média | 1,38 | 16,61 | 22,85 | 1,21 | 17,33 | 20,90 |
| Mediana | 1,42 | 16,02 | 22,27 | 1,21 | 16,23 | 19,69 |
| CV (%) | 9,42 | 19,69 | 20,66 | 13,22 | 29,77 | 29,62 |
| Assimetria | -0,94 | 1,12 | 1,32 | -0,44 | 0,96 | 0,65 |
| Curtose | 0,35 | 2,02 | 3,91 | 1,02 | 0,86 | -0,02 |
| Profundidade 10-20 cm | | | | | | |
| Média | 1,51 | 8,59 | 12,88 | 1,39 | 8,85 | 12,22 |
| Mediana | 1,51 | 8,24 | 12,56 | 1,41 | 8,65 | 12,15 |
| CV (%) | 5,96 | 29,22 | 27,17 | 9,35 | 22,82 | 21,52 |
| Assimetria | -0,57 | 3,68 | 3,95 | -1,14 | 0,52 | 0,21 |
| Curtose | 0,88 | 21,13 | 23,57 | 2,81 | 0,82 | 0,17 |
| Profundidade 20-40 cm | | | | | | |
| Média | 1,51 | 6,62 | 19,91 | 1,41 | 6,25 | 17,51 |
| Mediana | 1,52 | 6,27 | 19,28 | 1,40 | 6,40 | 17,37 |
| CV (%) | 5,96 | 20,09 | 18,43 | 9,22 | 26,24 | 26,90 |
| Assimetria | -1,56 | 1,90 | 1,39 | -1,95 | 0,51 | 0,68 |
| Curtose | 3,50 | 4,50 | 2,33 | 6,97 | 0,16 | 0,49 |

*CV (%): Coeficiente de variação.

Fonte: Autor, 2023.

4.2. Densidade, Carbono Orgânico e Estoque de Carbono do solo

Observou-se a relação diretamente proporcional quanto a homogeneidade da densidade do solo, havendo aumento gradativo em profundidade nas duas áreas avaliadas (Tabela 2). A Ds no SAF, comparada a FN, apresentou valores menores em todas as profundidades variando de 1,21 g.cm⁻³ a 1,41 g.cm⁻³, na FN os resultados oscilaram de 1,42 g.cm⁻³ a 1,52 g.cm⁻³. Os ambientes apresentarem-se estatisticamente diferentes nas profundidades amostradas com a Ds sendo menores nas camadas superficiais (Figura 9), fato que pode estar atrelado a teores mais

elevados de CO do solo como ressaltado por Freitas (2013), ao realizar estudos em um gradiente topográfico na Amazônia Central, encontrando Ds médias em áreas de platô de $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0-10 cm, chegando próximas de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ em maiores profundidades.

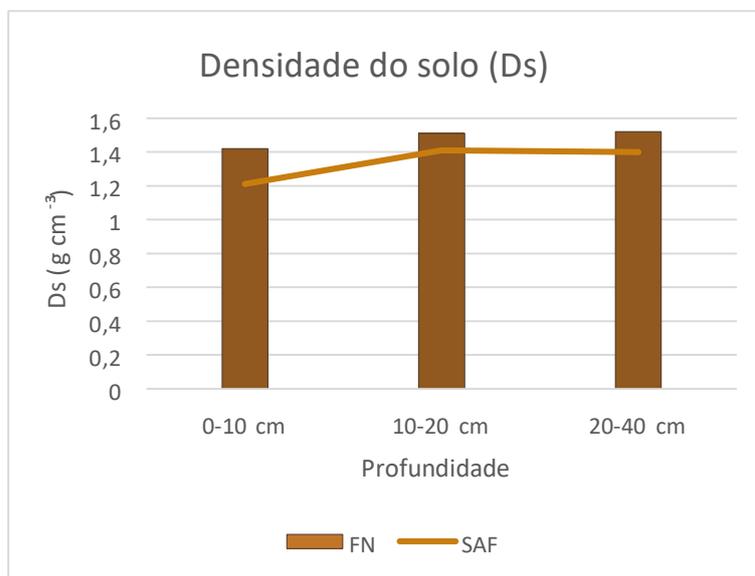


Figura 9: Densidade do solo (Ds) em áreas de sistema agroflorestal e floresta nativa em três profundidades no médio Amazonas. Fonte: Autor, 2023.

Os maiores valores de Ds do solo em profundidade é uma característica normal dos solos onde os valores estão relacionados com a pressão das camadas superiores, corroborando com Kiehl (1979) que justifica o aumento da densidade aparente com a profundidade do perfil do solo, de acordo com o autor, devido às pressões exercidas pelas camadas superiores ocorre uma diminuição da porosidade do solo e consequentemente um aumento da Ds. O que também pode estar relacionado com a maior agregação do solo, maior teor da matéria orgânica e maior penetração das raízes nas camadas mais superficiais do solo.

A maior porcentagem de areia na área de floresta (Quadro 1) pode ter influência no aumento da Ds. Fato semelhante foi observado por Santos (2014) estudando o estoque de carbono em área de terra firme na Amazônia Central, com Ds chegando a $1,41 \text{ g cm}^{-3}$. Marques et al. (2013) ratificaram a influência da areia ao avaliarem o EC em uma topossequência na Amazônia, onde o solo com maior porcentagem de areia apresentou maior Ds.

Tabela 2: Teste de Mann-Whitney para as variáveis densidade do solo (Ds), carbono orgânico (CO) e estoque de carbono orgânico do solo (EC) em áreas de sistema agroflorestal e floresta nativa.

| Área | Ds (g cm ⁻³) | CO (g Kg ⁻¹) | EC (Mg ha ⁻¹) |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| PROFUNDIDADE 0-10 cm | | | |
| Floresta Nativa | 1,42a | 16,02a | 22,27a |
| Sistema Agroflorestal | 1,20b | 16,23a | 19,69b |
| PROFUNDIDADE 10-20 cm | | | |
| Floresta Nativa | 1,51a | 8,24a | 12,56a |
| Sistema Agroflorestal | 1,40b | 8,65a | 12,15a |
| PROFUNDIDADE 20-40 cm | | | |
| Floresta Nativa | 1,52a | 6,26a | 19,28a |
| Sistema Agroflorestal | 1,40b | 6,40a | 17,37b |

* O teste de Mann-Whitney realizado por meio da comparação das medianas. Medianas seguidas de mesma letra na coluna, em cada profundidade, não se diferem entre si estatisticamente.

Fonte: Autor, 2023.

Os valores de Ds foram menores em todas as camadas do SAF quando comparado com a FN. Valores semelhantes de Ds foram encontrados por Couto et al. (2016) analisando diferentes tipos de solo sob SAF no sudoeste amazônico descreveram valores de Ds de SAF's nas diferentes classes de solo, em que a Ds nos Latossolos variou de 1,1 g.cm⁻³ a 1,3 g.cm⁻³ aumentando em profundidade, enquanto a área de mata nativa apresentou Ds de 1,2 g cm⁻³ a 1,5 g cm⁻³. De acordo com os autores, o menor valor da Ds foi justificado pelos teores de umidade elevados considerando que os Latossolos são mais desenvolvidos e possuem melhor agregação o que confere a esses solos aumento da porosidade e retenção de água.

Avaliando apenas as variações da Ds, em especial esta que pode ser decorrente da pequena variação da textura ao longo da área, a variável Ds de acordo com Aguiar (2008) não pode ser usada única e exclusivamente para dizer que uma área apresenta uma qualidade física melhor ou pior, para tanto, devemos associar a variável a outras características do solo para melhor avaliação da qualidade do solo.

Os valores de carbono orgânico (CO) (Figura 10) deram estatisticamente semelhantes em todas as profundidades, com teores superiores a 16,02 g.Kg⁻¹ na parte superficial e superiores a 6 g.Kg⁻¹ na camada mais profunda em ambas as áreas

avaliadas. Os maiores valores encontrados nas primeiras camadas são decorrentes do maior aporte de serrapilheira, fornecendo altas quantias de matéria orgânica devido a decomposição de componentes florísticos e faunísticos (CORAZZA et al., 1999).

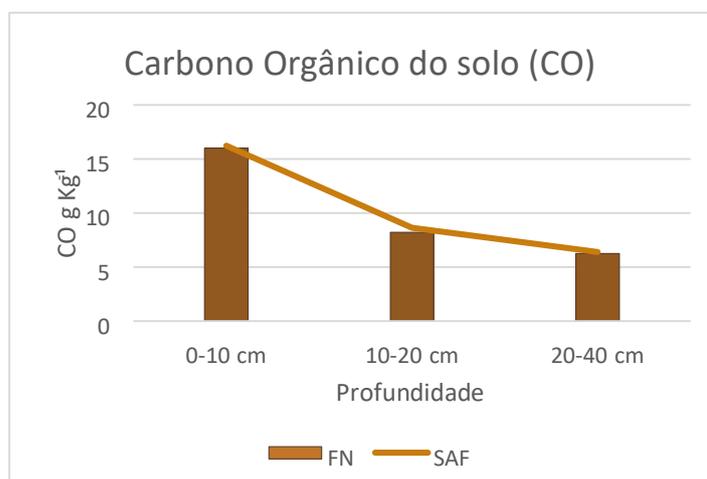


Figura 10: Carbono Orgânico (CO) em áreas de sistema agroflorestal e floresta nativa em três profundidades no médio Amazonas. Fonte: Autor, 2023.

Para os EC as duas áreas foram estatisticamente diferentes nas camadas de 0-10 cm e de 20-40² cm, onde a FN apresentou os maiores teores com valores, respectivos, de 22,27 Mg de C ha⁻¹ e 19,28 Mg de C ha⁻¹ e o SAF de 19,69 Mg de C ha⁻¹, e 17,37 Mg de C ha⁻¹ tendo altos valores na última profundidade devido a espessura da camada de solo amostrada (Figura 11).

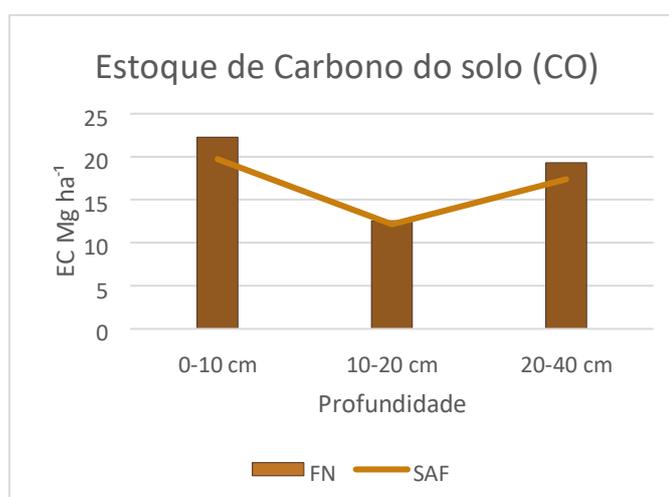


Figura 11: Estoque de Carbono (EC) em áreas de sistema agroflorestal e floresta nativa em três profundidades no médio Amazonas. Fonte: Autor, 2023.

Leal (2015) avaliando os efeitos do carbono pirogênico em um Argissolo na Amazônia Ocidental obteve médias com decréscimo gradativo de 28,2 Mg.ha⁻¹, 18,8 Mg.ha⁻¹ e 12 Mg.ha⁻¹ em área com queima possuindo semelhanças com os maiores teores da camada superficial do SAF e divergindo em profundidade e de 24,9 Mg de C ha⁻¹, 15,2 Mg de C ha⁻¹ e 11,1 Mg de C ha⁻¹ na floresta nativa sem queima representando, respectivamente as camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Os autores explicam que maiores estoques na área sob influência do fogo são devido ao depósito de material orgânico oriundo da biomassa vegetal queimada.

Mascarenhas e colaboradores (2017) estudando atributos físicos e EC sob diferentes usos da terra na Amazônia, descrevem comportamentos semelhantes aos observados neste trabalho, onde a estocagem de carbono decresceu com a profundidade. Os autores determinaram o EC nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, com médias de 36,07 Mg C ha⁻¹ e 24,49 Mg C ha⁻¹ na FN e de 24,79 Mg C ha⁻¹ e 17,26 Mg C ha⁻¹ no SAF, respectivamente. Mesmo com os elevados estoques na área testemunha, eles reiteram a ideia de que o manejo adequado nos SAF's possui potencial para elevar os EC do solo.

Resultados diferentes são demonstrados por Couto et al. (2016), em que os autores já citados, afirmam que dos 14 SAF's analisados 5 tiveram estoques maiores e 2 médias aproximados à área de referência (70 Mg C ha⁻¹), em que esses sistemas tiveram EC entre 60 Mg C ha⁻¹ chegando a valores superiores a 100 Mg C ha⁻¹. Os autores relacionam a estocagem com a resistência mecânica do solo a penetração que apresentaram valores baixos possibilitando o crescimento radicular, estabelecimento da vegetação e maior aporte de liteira.

4.3. Variabilidade Espacial

As figuras 11 e 12 demonstram a avaliação da dependência espacial feita a partir de semivariogramas por meio de modelagens da Ds e EC. Dos três modelos de semivariogramas citados neste estudo, apenas os esféricos e exponenciais foram utilizados por considerar o melhor R², validando as informações de Neves Neto et al. (2013), de que esses são os modelos que mais se ajustam as variáveis do solo.

Em todas as modelagens o valor de R² foi maior que 0,8 com o maior sendo de 0,943 para a Ds no SAF na segunda profundidade e o menor de 0,819 para o EC da

camada 10-20 cm da FN. O GDE de todas as variáveis foi satisfatório com alto grau de dependência, distinguindo apenas na Ds da FN em maior profundidade e no EC do SAF 0-10 cm tendo GDE moderado. Esse resultado é explicado por Cambardella et al. (1994), atribuindo a elevada dependência aos fatores intrínsecos do solo como material de origem, topografia e clima que modificam as propriedades químicas e físicas do solo. Campos et al. (2013) encontraram os mesmos graus de dependência para os atributos físicos e químicos em estudos no sul do Amazonas.

Para a Ds, o alcance variou de 15 a 25 metros e para o EC de 10,9 a 22,2 metros, as maiores distâncias indicam uma continuidade espacial do atributo analisado como ressaltado por Mantovanelli et al. (2016). Ferrari e colaboradores (2018) explicaram que o alcance (a) define distância máxima da dependência espacial dos valores correlacionados, onde as interpolações podem ser feitas em metragens menores que os amostrados, influenciando assim, nas estimativas do atributo estudado.

Nas figuras 13 e 14 são apresentados os mapas de krigagem da variabilidade espacial dos componentes densidade do solo e estoque de carbono. Os mapas possibilitam a visualização dos pontos correlatos, demonstrando a amplitude da homogeneidade existente entre os pontos de cada variável e em cada profundidade nos dois ambientes.

A Ds apresenta-se com maior homogeneidade nas profundidades 0-10 cm e 20-40 cm das duas áreas, podendo ser explicado pelo alto alcance averiguado nos semivariogramas que relaciona um ponto a outro. O mesmo foi observado por Gomes et al. (2018) que constataram a continuidade das propriedades do solo em maiores alcances. Todavia os autores relatam a homogeneidade na camada superficial, diminuindo nas demais camadas estudadas. Em regiões concavas a Ds foi mais baixa, tendo valores aumentados em maiores altitudes do aclave. As diferentes densidades, notória principalmente na camada de 10-20 cm do SAF, pode estar relacionada a vegetação assim como a outras propriedades do solo.

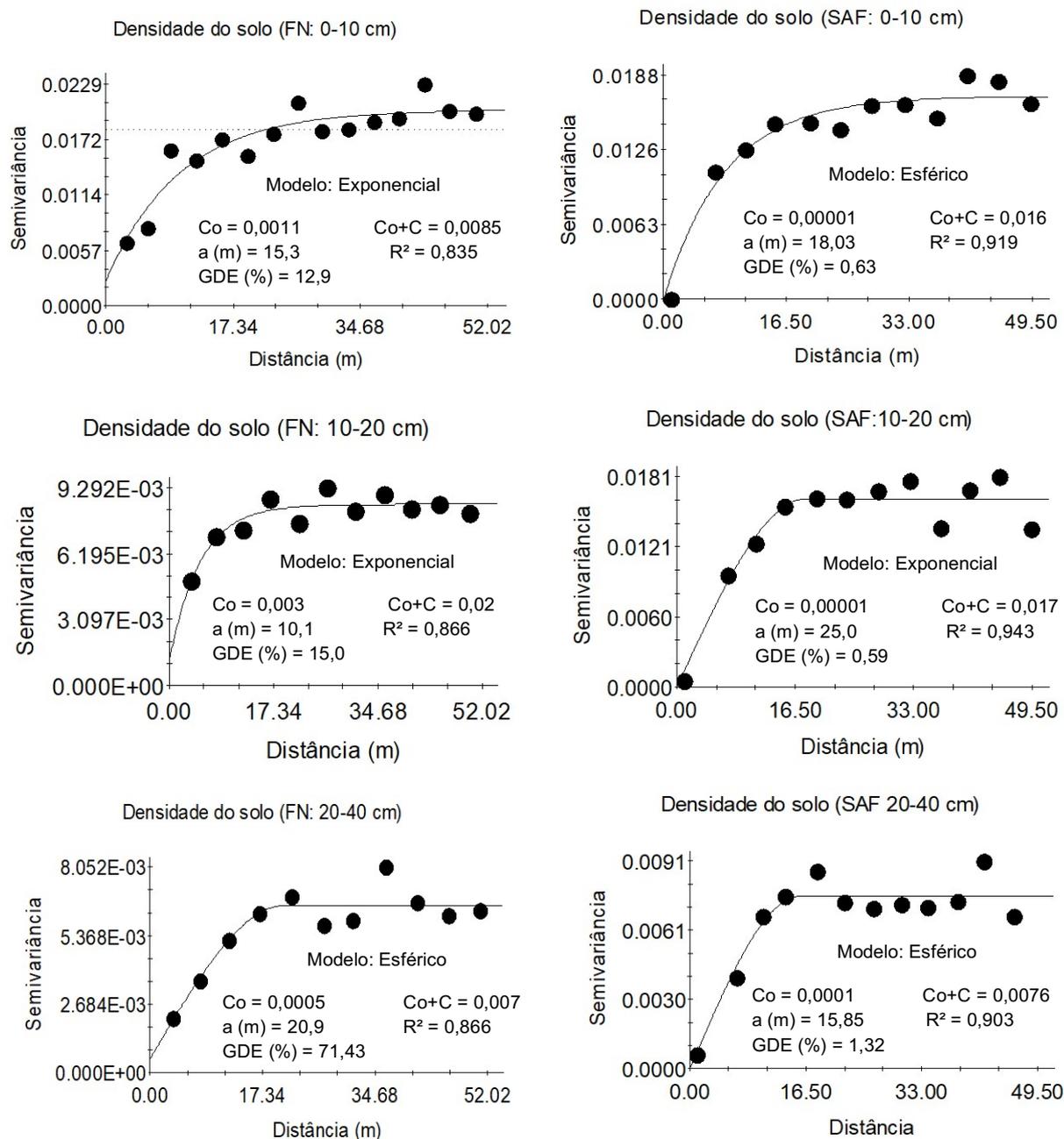


Figura 11: Semivariogramas da densidade do solo nas áreas de floresta nativa e sistema agroflorestal em três profundidades. Co: efeito pepita; Co+C: patamar; a (m): alcance em metros; GDE: grau de dependência espacial. Fonte: Autor, 2023.

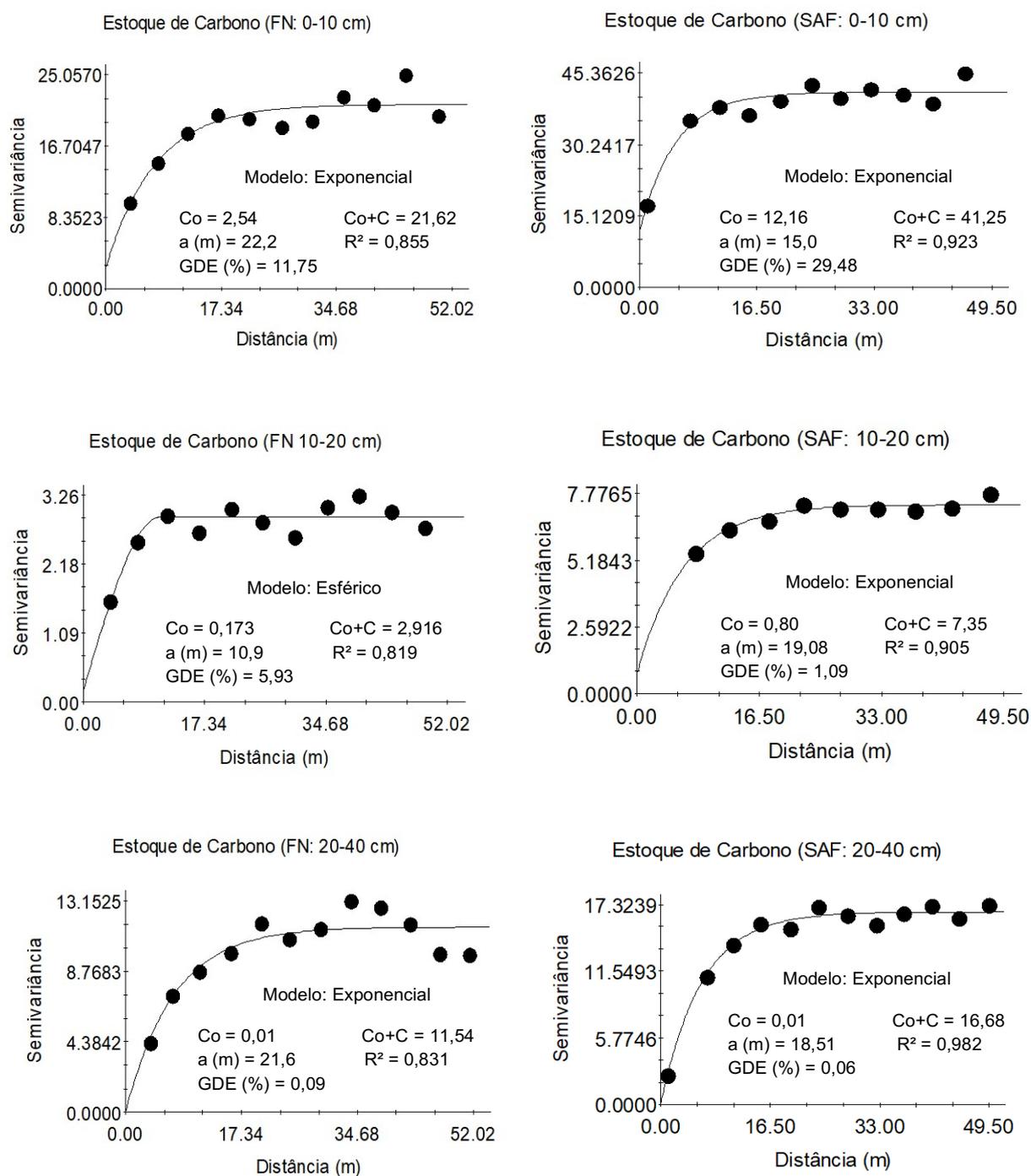


Figura 12: Semivariogramas dos estoques de carbono em áreas de floresta nativa e sistema agroflorestal em três profundidades no médio Amazonas. Co: efeito pepita; Co+C: patamar; a (m): alcance em metros; GDE: grau de dependência espacial. Fonte: Autor, 2023.

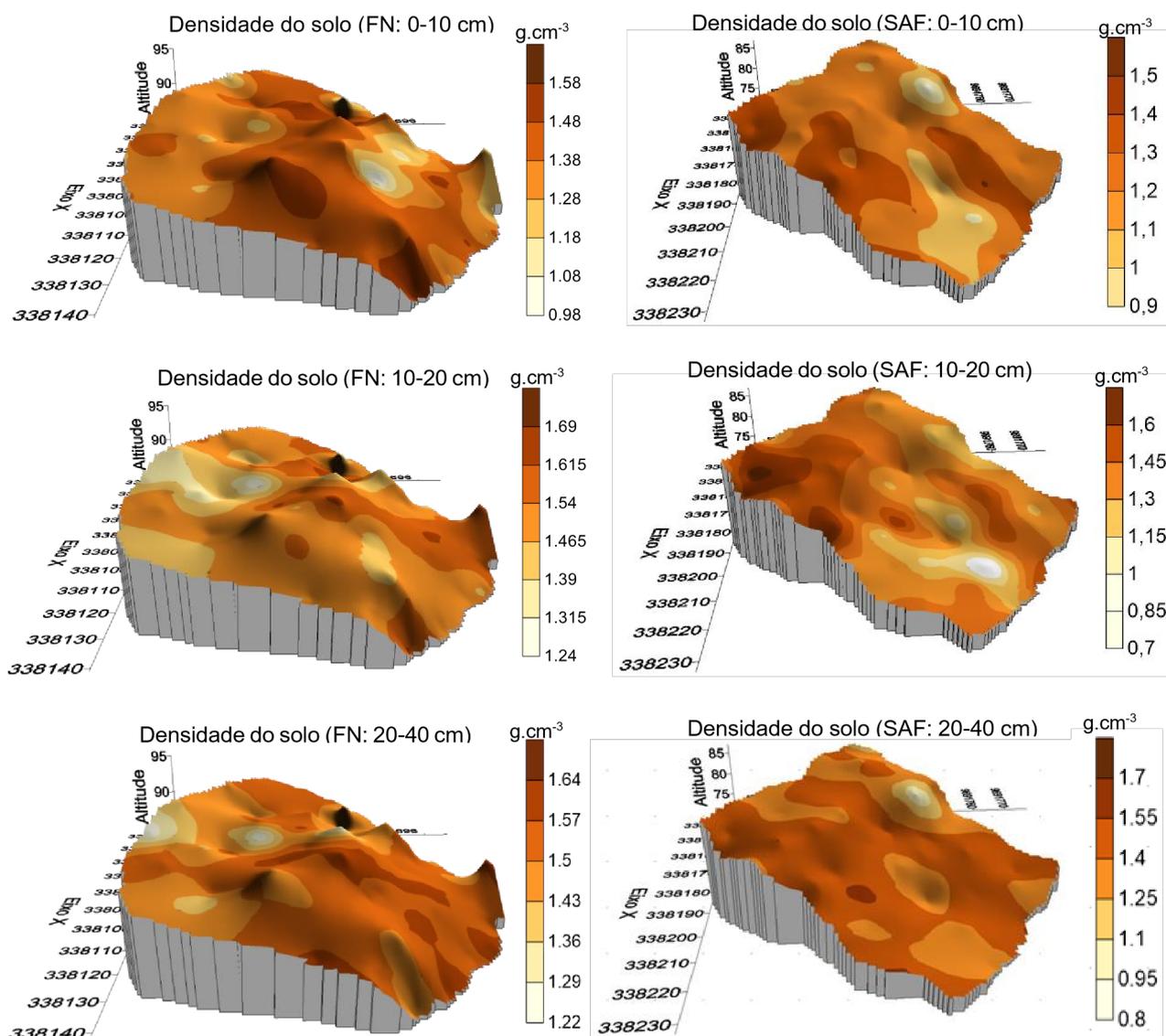


Figura 13: Mapas de Krigagem da densidade do solo em áreas de floresta nativa e sistema agroflorestal em três profundidades no médio Amazonas.
Fonte: Autor, 2023.

Para o EC nota-se que os maiores teores estão nas regiões mais declivosas de ambos ambientes em todas as profundidades, o que pode estar associado ao acúmulo de material orgânico e nutrientes transportados das partes mais altas. Acontecimento relatado por Delarmelina et al. (2022) em estudos usando a cokrigagem com os maiores EC predominando em menores altitudes.

Outro fator representado nos mapas é a pequena distância entre as isolinhas, profundidades 0-10 cm e 20-40 cm, e variações dos EC nas três camadas do SAF indicando maior grau de variabilidade espacial decorrente das modificações de uso e manejo nesse sistema (GOMES et al., 2018). Os mapas da FN mostram maior

homogeneidade havendo acúmulo dos estoques nas camadas mais profundas estando sob influência das modificações naturais do solo.

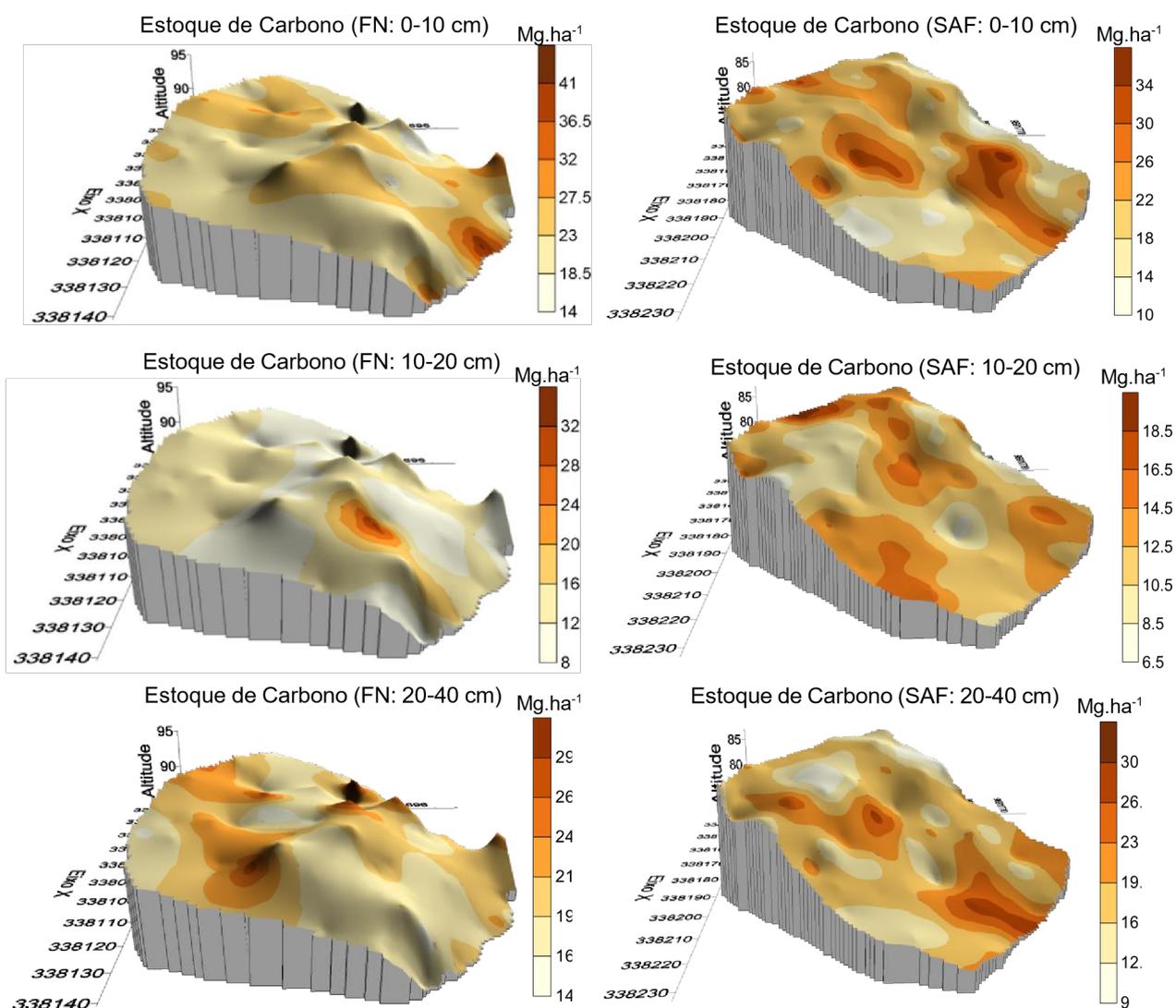


Figura 14: Mapas de Krigagem do estoque de carbono em áreas de floresta nativa e sistema agroflorestal em três profundidades no médio Amazonas.

Fonte: Autor, 2023.

5. CONCLUSÃO

A implementação do sistema agroflorestal com 22 anos não evidência alterações drásticas em relação aos atributos analisados neste trabalho. Apresentando resultados para densidade do solo com menores valores, teores de carbono orgânico semelhantes e estocagem de carbono inferior comparadas a área de floresta nativa, ratificando a eficiência do sistema e validando a implementação.

Apesar da diferença estatística encontrada em algumas variáveis e considerando os baixos estoques de carbono encontrados na FN o SAF analisado apresenta-se com alta eficiência uma vez que os menores EC podem estar associados as propriedades do solo e não a implementação do sistema propriamente dito.

Os maiores estoques de carbono e teor carbono orgânico e os menores valores de densidade do solo encontrados na profundidade superficial são resultantes do maior acúmulo de matéria orgânica nessa camada e do maior crescimento do sistema radicular.

O uso da krigagem para geração de mapas demonstrou ser vantajoso, decorrente do maior detalhamento e precisão do estudo do comportamento dos atributos do solo, indicando a dependência espacial das variáveis podendo inferir a relação com o relevo das áreas. Os mapas para Ds demonstraram maior uniformidade na camada superficial para as duas áreas estudadas. Os EC visualizados com maior homogeneização na FN podem estar associados as entradas e saídas regulares do carbono orgânico decorrente da ausência de manejo e uso do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA GOTSCH. **Agricultura Sintrópica**. 2018. Disponível em: <<https://agendagotsch.com/pt/>>. Acesso em: 5 abril. 2022.

AGUIAR, M. I. DE. **QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS**. 2008, 89. Dissertação (*Magister Scientiae*) – Viçosa, MG, 2008.

ALMEIDA, C. A. et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, [S. I.], v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.

ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil, **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. 19, 2019.

AQUINO, R. E. et al. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. **Geoderma**, Amsterdam, v. 262, n.2, p. 35-44, 2016.

BARONA, E. et al. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, [S. I.], v. 5, n. 2, 2010.

BODEN, T. A; MARLAND, G. R; ANDRES, R. J. **Estimativas de emissões anuais globais, regionais e nacionais de CO₂ da queima de combustível fóssil, produção de cimento hidráulico e queima de gás: 1950-1992**. Disponível em: <<https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/epubs/ndp/ndp030/ndp0301>>. Acesso em: 4 mar. 2022

BOMBARDI, L. M. Violência silenciosa: o uso de agrotóxicos no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 6., 2013, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2013.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems; Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press, Oxford, 2000, 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58 (5), p.1501–1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; CUNHA, J. M.; OLIVEIRA, I. A. Caracterização dos atributos do solo em ambiente natural e transformado na região Sul do Amazonas. Goiânia: **Editora da PUC-GOÍÁS**, v. 1000, p. 218, 2015.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D, R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono orgânico no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 339-348, jun. 2016.

Corazza, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

COSTA, G. S. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de **Eucalyptus grandis** no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

COSTA, N. R. et al. Atributos do solo e Acúmulo de carbono na integração lavourapecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 39, p. 852863, 2015.

COUTO, W. H.; DOS ANJOS, L. H. C.; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; Atributos edáficos e resistência a penetração em áreas de sistemas agroflorestais no sudoeste amazônico. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, RS. v. 26, n. 3, p. 811-823, jul-set., 2016.

DELARMELINA, W. M; et al. Atributos do solo e variabilidade espacial do estoque de carbono orgânico do solo sob Floresta Atlântica, Brasil. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, RS. v. 32, n. 3, p. 1528-51, jul-set., 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Fixação biológica de nitrogênio**. [S.l.], 2014.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. Carbono orgânico. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (coord.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FRANKE, I. L.; LUNZ, A. M. P.; AMARAL, E. F. Metodologia para planejamento, implantação e monitoramento de sistemas agroflorestais: um processo participativo. PA/132, CPAF-Acre, p. 3, 1998.

FREITAS, A. C. A DE. **Estimativas para o estoque de carbono do solo ao longo de um gradiente topográfico na Amazônia Central**. 2013, 61. Dissertação (Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM, 2013.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n.1, p.228-239, 2018.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I.; SILVA, L. S.; JÚLIO FRARE, C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **UNIMAR**, Marília/SP, v. 26, n. 1/2, p. 08-25, 2017.

GARCIA, R. J.; ROMEIRO, A. R. Agricultura brasileira: desafios frente a restrição ambiental. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 7, n. 17, p. 33-53, 2021.

GOMES, R. P. **Avaliação do comportamento espacial do carbono e agregados do solo em áreas de tpa sob diferentes usos no sul do Amazonas**. Trabalho de iniciação científica – Universidade Federal do Amazonas, Campus Vale do Rio Madeira, Humaitá, AM, 2015.

GOMES, R. P. et al. Variability and spatial correlation of aggregates and organic carbon in indian dark earth in Apuí region, AM. **Bioscience Journal**, 34, 1188–1199, <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n5a2018-39414>, 2018.

GOMES, R. P. et al. Spatial variability of aggregates and organic carbon under three different uses of indian black earth in Southern Amazonas. **Bioscience Journal**, 33, 1513–1522, <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n6a2017-37142>, 2017.

GONÇALVES, C. B. Q. **Sistemas agroflorestais biodiversos: uma proposta para a segurança alimenta e nutricional de povos indígenas**. 2021, 125. Dissertação (mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021.

GOULART, I. C. G. **Sistemas Agroflorestais e seus serviços ecossistêmicos na RDS do Uatumã, Amazonas, Brasil**. 2020. 103. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2020.

HIGUCHI, M. I. G.; HIGUCHI, N. **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. 2. ed. Manaus: [s.n.], 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/itacoatiara.html>. Acesso em: 13 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Território**. Disponível em: <https://brasilensintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em 18 abr. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. São José dos Campos, São Paulo. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 4 abr. 2020.

IPCC. **Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** WMO/UNEP, 2007. 18p, 2007.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. **New York: Oxford University Press**, p. 561, 1989.

INSTITUTO DE PERMACULTURA (IPOEMA). **Jardins Florestais.** Brasília, DF, 2017.

JÚNIOR, S.B.; MANESCHY, R. Q.; JÚNIOR, M. M.; FILHO, A. B. G.; YARED, J. A. G.; GONÇALVES, D.; GAMA, M. B. Sistemas agroflorestais na Amazônia Brasileira: análise de 25 anos de pesquisa. **Pesquisa Floresta Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 67-76, dez. 2009.

KAMIMURA, K. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 877-888, 2013.

KIEHL, J. E. Manual de Edafologia. **Agronômica Ceres**, São Paulo, 262 p. 1979

KUCHLER, P. C. **Utilização do sensoriamento remoto para o mapeamento dos sistemas integrados de produção agrícola:** contribuição ao monitoramento da agricultura de baixa emissão de carbono no estado do Mato Grosso, Brasil. 2021. 215. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Montpellier (França), 2021.

KUMAR, S. V. et al. A comparison of methods for a priori bias correction in soil moisture data assimilation. **Water Resources Research**, v.48, 2012. doi:10.1029/2010WR010261

LA SCALA JÚNIOR N. et al. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology** 72: 775–875. 2012.

LEAL, O. A. Impactos de carbono pirogênico nas propriedades químicas do solo e na qualidade e quantidade de matéria orgânica de um Cambissolo Subtropical e de um Argissolo Trocical. TESE (Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.

MANTOVANELLI, B. C; et al. Distribuição espacial dos componentes da acidez de solo em áreas de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de ciências agroambientais.** Alta Floresta, MT, 2016.

MAPA. Tecnologias de produção sustentável do Plano ABC+. In: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-tecnologias-de-producaosustentavel-plano-abc-pretende-reduzir-emissao-de-carbono-em-mais-de-1-bilhaode-toneladas>. Acesso em: 25 mai 2022.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; ARAÚJO, E. M. Carbono orgânico em solos sob florestas na Amazônia Central. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 8, 2013, Salvador, BA. **Anais**. Salvador, BA, 2013.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; FERREIRA, S. J. F. Variações do carbono orgânico dissolvido e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 611-622, abr. 2012.

MARTINELLI, G. do C. et al. Decreasing uncertainties and reversing paradigms on the economic performance of agroforestry systems in Brazil. **Land Use Policy**, v. 80, n. set. 2018, p. 274-286, 2019.

MASCARENHAS, A. R. P; et al. Atributos físicos e estoque de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 37, n. 89, p. 19-27, jan/mar. 2017.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.37(4), p.617-639, 1986

MIRANDA, E. E.; CARVALHO, C. A.; MARTINHO, P. R. R.; OSHIRO, O. T. Contribuições do geoprocessamento à compreensão do mundo rural e do desmatamento no bioma Amazônia. **Colóquio: revista do desenvolvimento regional**, 17, 2020.

MOLINE, E. F. V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Occidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 58, n. 1, p. 14-20, 2015

NAIR, P. K. R. **An Introduction to Agroforestry**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. [S.I.], Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.

NEVES NETO, D. N.; et al. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 995-1004, 2013.

OLIVEIRA, C N. S. **Urbanização no Médio Amazonas: A importância de Itacoatiara (Am) como cidade intermediária**. 2007. 185. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura da Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2007.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolo sob cultivo de cana de açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.227-236, abr./jun. 2008.

- RIGHI, C. A. SISTEMAS AGROFLORESTAIS: DEFINIÇÃO E PERSPECTIVAS. In: RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. **Cadernos da Disciplina Sistemas Agroflorestais**. 1. ed. Piracicaba, SP: Edição dos autores, 2015.
- ROCHA, C. H. et al. Padrões de deslocamento de bovinos em pastos de capim-quicuiu sob lotação intermitente. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 6, p. 1647-1654, 2016.
- ROJAS, J. M.; PRAUSE, J.; SANZANO, G. A.; ARCE, O. E. A.; SÁNCHEZ, M. C. Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil Tillage Res.* v. 155, p. 250–262, 2016.
- ROMEIRO, A. R. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume, 1998.
- ROMEIRO, V. **O Acordo de Paris: Ponto Decisivo para uma Solução Climática**. 2016. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/node/41058> Acesso em: 17 mai. 2022.
- SANTOS, L. T. **Estoque de carbono no solo em área de blowdown na floresta tropical úmida da Amazônia Central**. 2014, 63. Dissertação (Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM, 2014.
- SILVA, D. A. P. et al. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em áreas de pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, SC, v. 18, p. 119-126, 4 abr. 2018.
- SILVA, J.M. L. **Levantamento de Reconhecimento de Alta Intensidade dos Solos do município de Itacoatiara - Estado do Amazonas**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PARA - Agosto, 2003
- SILVA, K. K. S. **Identificação de recursos florestais em três comunidade de agricultores familiares na estrada da várzea, no município de Silves-AM**. 2005, 122. Dissertação (Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM, 2005.
- SILVA, S. C. **Sistemas agroflorestais na Amazônia: fitossociologia, socioeconomia, análise de risco, comercialização e tendência de preço dos produtos**. 2013. 214. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.
- SMITH, P. et al. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments, **Geoderma**, [s. l.], v. 81, p. 153-225, 1997.
- SONG, G.; ZHANG, J.; WANG, K. Selection of optimal auxiliary soil nutrient variables for cokriging interpolation. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2014.

SOUSA, S. A de; ARAÚJO, M. I de; SILVA, I. F.; SOUZA, J. D. O de. Avaliação dos componentes vegetais do sistema agroflorestal do sitio Deus me deu, Manaus-am. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 12, 2021, Manaus, AM. **Anais**. Manaus, AM, 2021.

SOUSA, S.G.A. et al. Sistemas agroflorestais para a agricultura familiar da Amazônia. Silas G.A.S. (org.). – Brasília, DF: **Embrapa**, 2012. 38 p. (ABC da Agricultura Familiar, 33).

SOUZA, W. A.; VIEIRA, T. A. Sistemas agroflorestais: uma análise bibliométrica da produção científica de revistas brasileiras no período de 2005 a 2015. **Espacios**, 38, 2017.

SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-deaçúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 309-319, mai/ago, 2004.

T.R, DE AZEVEDO; et al. Estimativas da iniciativa SEEG sobre as emissões brasileiras de gases de efeito estufa de 1970 a 2015. **Ciência Dados**, v. 5, p. 1-43, 2018.

WANDELLI, E. V.; SOUZA, M. P. S. Análise da sustentabilidade de sistemas agroflorestais do estado do Amazonas através da sua diversidade florística. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, **Anais**, EMBRAPA, p.26-28, 2000.

YOEMANS J. C.; BREMNER J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.