

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

NOEME DA COSTA SANTOS

VARIABILIDADE ESPACIAL DA ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE
FLORESTA NATIVA E PLANTIOS DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. NO MUNÍCIPIO
DE ITACOATIARA/AM

ITACOATIARA - AM

2023

NOEME DA COSTA SANTOS

VARIABILIDADE ESPACIAL DA ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE
FLORESTA NATIVA E PLANTIOS DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. NO MUNICÍPIO
DE ITACOATIARA/AM

Monografia apresentada ao Centro de
Estudos Superiores de Itacoatiara da
Universidade do Estado do Amazonas –
UEA, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim
dos Santos

ITACOATIARA - AM

2023

NOEME DA COSTA SANTOS

VARIABILIDADE ESPACIAL DA ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE FLORESTA NATIVA E PLANTIOS DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. NO MUNICÍPIO DE ITACOATIARA/AM

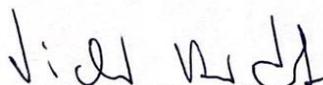
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 30 de março de 2023

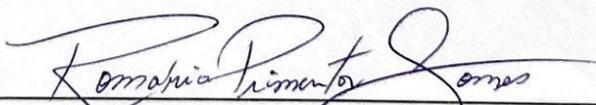
BANCA EXAMINADORA



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 Gama
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Dedico à minha família, em especial, à minha amada e doce vó, Nilza Santos, pelas orações e, principalmente, por me ensinar a ter fé nos momentos mais difíceis.

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu guia e sempre iluminar meu caminho.

À minha família, principalmente meus pais Luzinaldo Colares e Nilzilene Santos por todo o suporte necessário nesta etapa de minha vida, além do incentivo nas horas difíceis e pelos seus esforços para custear minha moradia em Itacoatiara. À minha irmã Débora Luane por sempre me apoiar nas tomadas de decisões, além de entender minha ausência durante esses anos. Essa conquista também é de vocês.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim, por compartilhar comigo seus conhecimentos e experiências, sempre acreditando em meu potencial. Ao Romário Gomes pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao corpo docente do CESIT e aos colegas de turma da graduação (Turma 14), por toda convivência e ensinamentos durante esse ciclo.

À empresa Agropecuária Aruanã S. A. (Fazenda Aruanã) que cedeu sua propriedade para que essa pesquisa pudesse ser realizada.

Ao grupo de pesquisa do Museu de Solos da Amazônia pela ajuda desde a coleta em campo até a realização das análises no laboratório, em especial aos meus amigos Anderson, Alexandre, Fredson, Jamile e Valeska que tornaram este desafio mais divertido com a convivência diária.

Ao Thiago Soares, pela parceria e amizade, por sempre está ao meu lado nos momentos difíceis e alegres que passei durante toda a graduação. Obrigada por tudo!

Às minhas amigas, Jay e Tiana, com quem divido as minhas alegrias e angústias diárias, obrigada pela sincera amizade e por acreditarem em mim, eu amo vocês.

À Stefanny Diniz, pela ajuda na faculdade, pelo apoio emocional e inúmeros conselhos. Obrigada por sua amizade.

Agradeço imensamente aos meus amigos, Fellip, David, Lavi, Emerson, Drielly, Andriw, Tati, Endria, Paloma, Lohanne e Gelson, por terem sido minha família nesta cidade nesses últimos anos.

À todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigada!

RESUMO

As intervenções antrópicas em vegetações naturais modificam significativamente as propriedades do solo, acelerando o processo de degradação e levando à perda de solos férteis em grandes áreas. Portanto, medir a influência dos diferentes fatores determinantes no processo de erosão a fim de estimar esta perda é importante. Com isso, a erodibilidade que expressa, quantitativamente, a suscetibilidade do solo em sofrer à erosão tem despertado interesse. Este estudo aliado aos princípios da geoestatística permite a melhor visualização da magnitude de perdas de solo. Na tentativa de reduzir a erosão, o cultivo florestal apresenta-se como alternativa viável, neste contexto, na região amazônica, destaca-se o cultivo de castanheira (*Bertholletia excelsa*). Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica da erodibilidade do solo e sua variabilidade espacial em áreas de floresta nativa e em plantios de *B. excelsa* Bonpl. em diferentes estágios de desenvolvimento no município de Itacoatiara-AM. O estudo foi desenvolvido na Fazenda Aruanã, em três áreas, sendo dois povoamentos de castanheira com idade de 03 e 25 anos e uma área de floresta nativa. Foram coletadas amostras na profundidade de 0,00-0,20 m, com 64 pontos amostrais em cada área, para determinação da textura do solo e carbono orgânico, e com isso determinou-se a erodibilidade do solo pelo método de Denardin (1990) e Flanagan e Livingston (1995). Ao avaliar a conversão de área, estatisticamente, não foi observado efeito sobre a erodibilidade global do solo, evidenciando que a implantação desta cultura não provocou impactos neste atributo. Em cultivos com maior tempo de implantação, o mesmo pode aumentar ou igualar os teores de MO de uma floresta nativa, favorecendo desta forma a qualidade do solo, no entanto, as áreas cultivadas apresentaram maior predisposição a sofrer erosão entressulcos, em contrapartida, a tensão cisalhante do solo sinalizou resistência ao início do processo erosivo. A geoestatística e os mapas de krigagem auxiliaram na compreensão do comportamento dos fatores da erodibilidade, após o processo de conversão floresta nativa/áreas cultivadas.

Palavras chaves: Solos amazônicos. Erosão hídrica. Castanheira. Geoestatística

ABSTRACT

Anthropic interventions in natural vegetation significantly modify soil properties, accelerating the degradation process and leading to the loss of fertile soils over large areas. Therefore, measuring the influence of different determining factors on the erosion process in order to estimate this loss is important. Thus, the erodibility that expresses, quantitatively, the susceptibility of the soil to erosion has aroused interest. This study allied to the principles of geostatistics allows a better visualization of the magnitude of soil losses. In an attempt to reduce erosion, forest cultivation presents itself as a viable alternative. In this context, in the Amazon region, the cultivation of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) stands out. In view of the above, the present work aims to evaluate the dynamics of soil erodibility and its spatial variability in areas of native forest and in plantations of *B. excelsa* Bonpl. at different stages of development in the municipality of Itacoatiara-AM. The study was developed at Fazenda Aruanã, in three areas, two Brazil nut stands with ages of 3 and 25 years and one area of native forest. Samples were collected at a depth of 0.00-0.20 m, with 64 sampling points in each area, to determine soil texture and organic carbon, and thereby determine soil erodibility by the method of Denardin (1990) and Flanagan and Livingston (1995). When evaluating the area conversion, statistically, no effect on the overall erodibility of the soil was observed, showing that the implementation of this culture did not cause impacts on this attribute. In crops with a longer time of implantation, the same can increase or equal the MO contents of a native forest, thus favoring the quality of the soil. However, the cultivated areas presented a greater predisposition to suffer erosion between rills, on the other hand, the shear stress of the soil signaled resistance to the beginning of the erosive process. The geostatistics and the kriging maps helped in the understanding of the behavior of the erodibility factors, after the conversion process of native forest/cultivated areas.

Key words: Amazonian soils. Water erosion. Castanheira tree. Geoestatistic.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise granulométrica dos ambientes estudados.	24
Tabela 2- Classes textural e classes de permeabilidade do solo.	25
Tabela 3 - Teste de médias e estatística descritiva dos atributos da erodibilidade do solo na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de floresta nativa e plantio de castanheiras (03 e 25 anos) no município de Itacoatiara, AM.	29

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e modelo de elevação digital das áreas com castanheira de 25 e 03 anos e floresta nativa, no município de Itacoatiara, Amazonas.....	21
Figura 2 - Esquema de amostragem da malha de 70x70.....	22
Figura 3 – Etapas para coleta: (A) Abertura mini trincheira; (B) Coleta de solo em forma de torrão.....	22
Figura 4 - Etapas para obtenção das amostras de TFSA. (A) Secagem ao ar; (B) Processo de destorroamento; (C) Peneiramento das amostras.....	23
Figura 5 - Semivariogramas experimentais ajustados dos atributos da erodibilidade na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de floresta e castanheira (03 e 25 anos) no município de Itacoatiara, AM. Modelo (R^2 , C_0 ; C_1+C_0 ; alcance (a); GDE).....	33
Figura 6 - Mapas de krigagem dos atributos Fator K: erodibilidade global do solo; Kiwepp: erodibilidade em entressulcos e matéria orgânica das áreas de floresta nativa, CA03 e CA25 no município de Itacoatiara, AM.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo Geral.....	12
1.1.2. Objetivos Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Solos Amazônicos	13
2.2. <i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	14
2.3. Erosão Hídrica	15
2.4. Erodibilidade do Solo	16
2.5. Uso da geostatística no estudo dos atributos da erodibilidade dos solos	18
3. METODOLOGIA	20
3.1. Área de estudo	20
3.1.1. Caracterização do meio físico	20
3.1.2. Caracterização da área de estudo.....	20
3.2. Metodologia de campo	22
3.3. Análises de laboratório	23
3.3.1. Determinação dos Fatores de Erodibilidade (K, K_i , K_r) e Tensão Cisalhante (T_c).....	24
3.4. Análise dos dados	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5. CONCLUSÕES	37
6. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o processo de substituição de áreas de florestas nativas para fins de produção agrícola, pecuária ou florestal tem apresentado uma tendência crescente, ganhando espaço principalmente na região Amazônica. Contudo, esta prática aliada ao manejo inadequado provoca severas alterações nos atributos do solo, acelerando o processo de degradação do mesmo (LOURENTE et al., 2011; FREITAS et al., 2017).

Neste cenário, a expansão da fronteira agropecuária, as queimadas e a erosão do solo são apontadas por Tonini, Arco-Verde e Pereira de Sá (2005) como os principais responsáveis pela degradação de grandes áreas nessa região. Dentre os citados, a erosão do solo é considerada o principal causador do declínio dos rendimentos de culturas devido à perda de toneladas de solos férteis (VALE-JUNIOR et al., 2009; COUTO, 2015), ocasionando sérios danos ambientais.

Segundo o Relatório das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2015), 33% dos solos mundiais sofreram processo de degradação, sendo a erosão responsável por eliminar 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano. Portanto, medir a influência dos diferentes fatores determinantes no processo de erosão a fim de estimar as perdas de solo é uma das principais finalidades das pesquisas acerca do tema (MACEDO et al., 2010), todavia, apesar de ser um fenômeno muito estudado, a erosão é pouco compreendida, em se tratando de sua previsão em relação a espaço e tempo.

Um dos principais fatores condicionantes da erosão dos solos é a erodibilidade (K). A erodibilidade refere-se à resistência do solo durante o processo erosivo, um atributo complexo e intrínseco a cada tipo de solo. É considerada por vários autores como um fator essencial para determinar a susceptibilidade do solo em sofrer erosão hídrica (MIQUELONI; BUENO, 2011; SILVA et al., 2016; DUARTE et al., 2020), sendo essa, resultante da interação entre as características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas do solo (MACEDO et al., 2010).

Em função disto, vários métodos de avaliação de impactos ambientais e de perda de solos têm sido utilizados no planejamento de manejo e conservação do solo, na tentativa de combater os danos da erosão (ARAÚJO, 2000; DUARTE et al., 2020). Em destaque, tem-se a Equação Universal de Perda do Solo (USLE), mundialmente consagrada e utilizada com adaptações regionais, inclusive no Brasil, por exemplo a

equação proposta por Dernadin (1990) e a *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), proposta por Flanagan e Livingston (1995).

Como mencionado, o uso agrícola altera as condições naturais do solo, sendo assim, é necessário quantificar e qualificar o tipo de mudança causada por determinado uso, tanto em nível espacial como temporal (SILVEIRA JUNIOR et al., 2014). De acordo com Lima et al. (2015), para uma correta caracterização das propriedades dos solos é importante considerar sua variabilidade espacial. E isto é possível utilizando técnicas como a geoestatística.

O uso da geoestatística é uma importante ferramenta para estudos de processos de erosão e avaliação de paisagem, pois é possível destacar a existência da variabilidade e distribuição espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (MELLO; BUENO; PEREIRA, 2006; SILVA et al., 2008) e, ao unir os princípios da geoestatística com os dados gerados pelas diferentes equações propostas permite a melhor visualização da magnitude de perdas de solo possibilitando a geração de mapas de krigagem que representem a variabilidade espacial do fator erodibilidade (DI RAIMO et al., 2019).

Na tentativa de reduzir a erosão, o cultivo florestal apresenta-se como alternativa viável devido sua importância para o regime local, diminuindo o impacto das gotas de chuva por interceptação e possibilitando o aumento da infiltração de água no solo (TONINI; ARCO-VERDE; PEREIRA DE SÁ, 2005). Neste contexto, na região amazônica, destaca-se o cultivo de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), o qual apresenta grande potencial para reflorestamentos e recuperação de ambientes degradados (SCOLES; GRIBEL; KLEIN, 2011).

Todavia, as informações acerca de suas relações ecológicas e produtivas com os atributos do solo são escassas (GUEDES et al., 2017), bem como os impactos causados pela conversão de áreas nativas em plantios de castanheira sobre os atributos da erodibilidade do solo.

Diante do exposto, a presente pesquisa busca avaliar a dinâmica da erodibilidade do solo e sua variabilidade espacial em áreas de floresta nativa e em plantios de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em diferentes estágios de desenvolvimento no município de Itacoatiara-AM, na tentativa de compreender seu comportamento e subsidiar a escolha e aplicação de práticas conservacionistas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a dinâmica da erodibilidade do solo e sua variabilidade espacial em áreas de floresta nativa e em plantios de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em diferentes estágios de desenvolvimento no município de Itacoatiara-AM.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estimar a erodibilidade do solo (K, K_i , K_r), tensão cisalhante crítica (TC) e a matéria orgânica (MO) em áreas de floresta nativa e plantios de *Bertholletia excelsa* Bonpl com 3 e 25 anos, além de, verificar o efeito da conversão de área sob os atributos da erodibilidade do solo;
- Determinar a variabilidade espacial do solo nos fatores da erodibilidade e na matéria orgânica por meio da geoestatística nas áreas de floresta nativa e plantios de *Bertholletia excelsa* Bonpl.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Solos Amazônicos

O bioma Amazônia abrange cerca de 4,2 milhões de km² de extensão, correspondendo aproximadamente 49% do território brasileiro. Representa cerca de 30% de todas as florestas tropicais remanescentes do mundo e apresenta uma enorme diversidade de ambiente, tendo sua importância reconhecida nacionalmente e internacionalmente (SFB, 2013).

A Amazônia é constituída por uma das mais extensas e antigas áreas geologicamente estáveis no mundo (Cráton amazônico), é formada a partir do intemperismo de rochas ígneas e sedimentares (SCHAEFER et al., 2017), caracterizando os solos como, ácidos, com baixa capacidade de retenção de cátions e por consequência, baixa fertilidade natural (VALE-JÚNIOR et al., 2011).

Estendendo de Roraima ao Planalto Central, o Cráton Amazônico é recoberto por sedimentos de idades variadas, apresentando áreas predominantes baixas (terras baixas), no entanto, considerável parte da região associa-se a solos de boa drenagem (SCHAEFER et al., 2017).

Apesar desta região estar submetida ao longo processo de intemperismo, a fertilidade dos solos e exuberância das florestas em ecossistemas naturais da Amazônia é dependente da própria ação do intemperismo, além do aporte de nutrientes presentes na atmosfera e decomposição da biomassa, sendo este essencial à nutrição da biota do solo e das plantas (RUIVO et al., 2005).

De acordo com Schaefer et al. (2017), na região ocorrem duas ordens de paisagens inteiramente diferentes: as várzeas e as terras firmes. Nas várzeas há predominância de solos muito jovens, formados a partir de sedimentos do quaternário, com processo incipiente de pedogênese, enquanto os solos de terras firmes são mais evoluídos, formados a partir dos sedimentos ou de rochas cristalinas mais antigas.

Na Amazônia, a diversidade de solos é um reflexo das características do material de origem, sendo influenciados também pelo relevo, geologia, clima, bióticos e feições da paisagem (VALE-JÚNIOR et al., 2011). Os solos que predominam nesta região pertencem à classe dos Latossolos e Argissolos, estes estão localizados nas áreas de maior pressão de ocupação de terra, além disso, possui características físicas

adequadas ao uso agrícola, todavia, apresenta grandes limitações nutricionais (RODRIGUES, 1998; LIMA et al., 2006).

Vale destacar que, em meio aos solos de baixa fertilidade da Amazônia é possível encontrar manchas de solo com um horizonte superficial espesso e de coloração preta ou marrom escura (OLIVEIRA, 2017), tais solos são comumente conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI), estes por sua vez, apresenta elevada fertilidade natural (CAMPOS et al., 2012; SCHAEFER et al., 2017).

2.2. *Bertholletia excelsa* Bonpl.

A *Bertholletia excelsa* Bonpl., pertencente a família Lecythidaceae, é uma árvore nativa da Amazônia, que se distribui de forma descontínua por toda a região (SCOLES; GRIBEL; KLEIN, 2011). Popularmente conhecida como castanheira, castanheira do brasil e entre outros (MARTINS; SILVA; SILVEIRA, 2008), essa espécie é considerada de uso múltiplo, sendo um dos produtos mais importantes da economia florestal da Amazônia (BAYMA et al., 2014).

Espécie emergente e com ampla distribuição, a castanheira caracteriza-se como árvore de grande porte, uma vez que, quando adultas podem atingir aproximadamente 60 m de altura e 4 m de diâmetro (MULLER et al., 1995). Produz sementes com alto valor comercial e a maior parte da produção vem do extrativismo em florestas naturais (SPERA et al., 2018).

É considerada uma árvore semidecídua e heliófila, ocorrente em terras altas e firmes de toda a bacia Amazônica (BAYMA et al., 2014), é encontrada principalmente em solos com baixa fertilidade natural, com características texturais argilosa ou argilo-arenosa (MULLER et al., 1995). Ainda de acordo com os autores, a produção da castanheira provém de solos profundos, bem drenados e topografia levemente ondulada, sendo estas características encontradas em grande parte para os solos amazônicos.

Todavia, apesar de ser uma espécie protegida por lei, os castanhais nativos estão sendo dizimados e sua produção econômica tem diminuído, frente a isso, o cultivo de castanheira vem sendo bastante estimulado (COSTA et al., 2009). Desta forma, o cultivo de castanheira tem se tornado promissor para a reposição florestal na Amazônia Central principalmente, em sistemas agroflorestais devido ao seu alto valor de incremento médio anual em diâmetro e em volume comercial (TONINI;

ARCO-VERDE; SÁ, 2005; LOCATELLI; VIEIRA; SOUZA et al., 2010), apresentando altas taxas de crescimento e elevada produção de biomassa (FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012).

Devido a abundância e importância da castanheira na região, faz-se necessário estudos com esta cultura relacionados ao seu impacto nos atributos do solo no sentido de gerar novas informações sobre o manejo e conservação dos solos e, principalmente para o processo de recuperação de áreas degradadas, visto que, a castanheira é das espécies mais promissoras para o processo.

2.3. Erosão Hídrica

Processos erosivos podem ocorrer em qualquer parte da superfície terrestre. Erosão do solo é entendido por Verdum et al. (2016) e Saldanha et al. (2017), como um processo que consiste basicamente de arrançamento/desagregação, transferência/transporte e sedimentação/deposição das partículas constituintes do solo causadas por ação do vento, água ou gravidade.

A erosão dos solos é um processo natural, mas nos últimos anos tem sido intensificado pela ação humana, por alterações no uso da terra e práticas de manejo inadequadas, tornando-se em um dos problemas mais iminentes da humanidade (VIEL; ROSA; HOFF, 2017). O manejo inadequado gera vários prejuízos ambientais e socioeconômicos, possui efeito direto nas propriedades físicas e químicas do solo, ocasionando perda excessiva de nutrientes, de água disponível para plantas, de matéria orgânica, entre outros (TÔSTO; PEREIRA, 2012; DECHEN et al., 2015). Quando o agente erosivo é a água, é chamado de erosão hídrica, sendo este, no Brasil, o que causa mais prejuízos.

A erosão hídrica é um processo complexo que se manifesta em intensidade variável, dependendo da interação dos fatores clima, solo, topografia, vegetação, uso da terra e práticas conservacionistas (PIRES et al., 2006). Esta erosão reduz a produtividade dos solos e promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática (MARTINS et al., 2003).

A ação física e química da água da chuva e, mais especificamente, o impacto das gotas sobre o solo (efeito "*splash*"), sendo este o estágio mais inicial do processo erosivo (GUERRA, 2020), é caracterizada pela ação de desagregação (impacto, salpicação e remoção), transporte e deposição das partículas minerais e demais

componentes a elas aderidos, como defensivos e fertilizantes agrícolas, matéria orgânica, biota do solo, sementes, entre outros materiais (VERDUM et al., 2016), podendo também, gerar o selamento do solo (compactação) e assim condições propícias para ocorrência do escoamento superficial e transporte de partículas (MACIEL; OLIVEIRA, 2007).

Conforme Aragão et al. (2011), nas áreas de clima tropical, como na região Norte, as chuvas ocorrem com grande intensidade e são concentradas em um curto período de tempo, o que agrava ainda mais o processo erosivo devido ao forte impacto das gotas de chuva.

Dessa forma, o entendimento dos processos que regem a erosão hídrica e suas relações com as perdas de solo e água é de suma importância na identificação e escolha de medidas apropriadas, visando uma produtividade sustentável e um planejamento conservacionista, capaz de reduzir 50 a 95% nas perdas de solo (PANACHUK, 2003; CANDIDO et al., 2014).

2.4. Erodibilidade do Solo

Na tentativa de elaborar planos de uso do solo eficazes e com ótimos resultados, é necessário que as estimativas do fenômeno de erosão sejam confiáveis. O comportamento dos solos em relação à erosão depende, além de fatores climáticos, topográficos e relativos à cobertura vegetal, como de suas características inerentes, que são textura, estrutura, agregação e porosidade. Essas propriedades são analisadas sob o conceito específico de erodibilidade (MIQUELONI; BUENO, 2011; COUTO; GOMES; FERREIRA, 2021).

A erodibilidade refere-se à resistência do solo durante o processo erosivo, um atributo complexo e intrínseco a cada tipo de solo. É considerada por vários autores como um fator essencial para determinar a susceptibilidade do solo em sofrer erosão hídrica (BASTOS, 1999; MIQUELONI & BUENO, 2011; SILVA et al., 2016; DUARTE et al., 2020).

A erodibilidade tem influência direta com a qualidade do solo, indicando o grau de suscetibilidade a erosão em relação às propriedades inerentes ao solo, segundo Arraes et al. (2010) e Duarte et al. (2020), pode ser entendido como o efeito integrado de processos que regulam a chuva no momento que encontra o solo e a sua

respectiva resistência no que tange a desagregação de partículas e consequentemente movimentos destas.

Fator que tem despertado maior interesse na pesquisa de erosão, a erodibilidade pode variar devido a ampla variedade de solos com atributos diferenciados, tornando arriscado estimar um valor, com base, unicamente, na classificação do solo (VALE-JÚNIOR et al., 2009; MARTINS et al., 2011). Freitas (2014) afirma que, um dos atributos que está intimamente relacionado com a erodibilidade é a textura do solo, sendo a resistência do solo à desagregação afetada pela sua distribuição granulométrica.

Com isso, o objetivo da maior parte das pesquisas sobre erosão é medir a influência dos diferentes fatores determinantes no processo, a fim de possibilitar estimativa de perdas de solo e selecionar práticas que as reduzam ao máximo (EDUARDO et al., 2013). Os modelos de previsão são fundamentais, dentre as metodologias disponíveis para avaliar a erosão do solo, pois uma vez comprovada a sua confiabilidade, são capazes de avaliar diferentes cenários de manejo do solo sem necessidade de testes de campo (AKSOY; KAVVAS, 2005).

Prever a quantidade de solo perdido em decorrência da erosão hídrica em uma determinada área é subsídio importante para que se possa ter conhecimento de sua gravidade e consequências, e assim, elaborar um planejamento agrícola e ambiental em uma determinada área. Porém, a determinação da erodibilidade em parcelas experimentais é morosa, possui custo elevado e dificuldade de implantação (DEMARCHI; ZIMBACK, 2014)

Com esta finalidade, até que se chegue em uma equação mais adequada em razão de sua aplicabilidade e resultados satisfatórios, vários métodos de avaliação de impactos ambientais e de perda de solos têm sido amplamente utilizados no planejamento de manejo e conservação do solo, na tentativa de combater os danos da erosão (DUARTE et al., 2020), além de legitimar esses modelos para diferentes condições de manejo e uso do solo (AMORIM et al., 2010).

Os modelos de predição de erosão do solo evoluíram de modelos empíricos, tais como a Universal Soil Loss Equation (USLE), para modelos baseados em princípios teóricos, como o Water Erosion Prediction Project (WEPP).

No modelo empírico USLE, a erodibilidade do solo é representada como fator K (WISCHMEIER; SMITH, 1978), mundialmente consagrada e utilizada com adaptações regionais, inclusive no Brasil, por exemplo a equação proposta por

Dernadin (1990), ao passo que, no modelo teórico WEPP, o fator K é subdividido em K_r (erodibilidade do solo em sulcos) e K_i (erodibilidade do solo em entressulcos) (FLANAGAN & LIVINGSTON, 1995).

Basicamente, estes modelos visam a determinação de índices de erodibilidade por meio de atributos físicos, químicos e mineralógicos, sendo, muitas das vezes limitadas a ensaios realizados em laboratório (COUTO et al., 2021).

2.5. Uso da geostatística no estudo dos atributos da erodibilidade dos solos

O estudo de técnicas alternativas para a quantificar as taxas de perdas de solo promove maior facilidade e dinamismo ao planejamento de medidas conservacionistas. As interações inerentes ao processo erosivo ao serem analisadas e compreendidas de acordo com as características pontuais de cada área, possibilita alternativas de controle e mitigação do problema de acordo com as possibilidades locais (MIQUELONI; BUENO, 2009), portanto, é essencial estudar os fatores envolvidos no processo de erosão do solo, bem como interações com as posições da paisagem.

Deste modo, as técnicas geoestatísticas, de acordo com Martins Filho (2007), apresentam-se como promissoras para o desenvolvimento de novos conceitos e/ou tecnologias dentro das relações solo-paisagem e para os processos de erosão. Esta técnica possibilita a interpretação dos resultados baseando-se na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, por considerarem a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (SPIAZZI, 2011).

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO; VIEIRA, 2005), assim, torna-se indispensável na agricultura moderna, uma vez que pequenas alterações podem levar a grandes diferenças de produtividade (SILVA et al., 2012)

Para este estudo, a geoestatística aliada a estimativa da erodibilidade do solo é apropriada, pois os dados gerados pelas equações consistem em variáveis relacionadas, ou seja, as informações provêm de uma variável com suporte da outra, reduzindo a margem de erro, neste caso, refere-se ao teor de carbono orgânico, textura do solo e permeabilidade (ARRAES; BUENO; PISSARA, 2010; DI RAIMO et al., 2019).

Os dados gerados através da geoestatística podem ser obtidos por meio dos mapas interpolados, sendo a interpolação por krigagem a de maior precisão (SOUZA et al., 2014), este por sua vez possibilita a inferência de valores, ou seja, estima valores para locais não estimados sem tendência e com variância mínima a partir de amostras pontuais de um atributo espacial de interesse, proporcionando uma estimativa mais precisa (BRANDÃO, 2001; SOUZA et al., 2010)

Assim, as técnicas da geoestatística aliadas a estatística clássica possibilitam o armazenamento, a sobreposição, a análise e a visualização das informações espaciais, sob a forma de mapas digitais, permitindo tomadas de decisões rápidas e com maior eficiência (SOUZA et al., 2010). Desse modo, trabalhos utilizando a geoestatística em solos amazônicos são necessários devido à grande extensão territorial e diversidade geomorfológica no estado do Amazonas (GOMES et al., 2017).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

3.1.1. Caracterização do meio físico

Localizada no município de Itacoatiara, o tipo climático local é classificado, segundo Köppen, como Clima tropical úmido (Grupo Climático A) com variedade climática Af, onde existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, até no mês mais seco, ou seja, apresenta uma estação seca de pequena duração em função do elevado índice de precipitação pluviométrica (CLIMATE-DATA, 2022). A precipitação pluviométrica anual é cerca de 2.500 mm e a temperatura média encontra-se a 27°C, com umidade relativa do ar em torno de 84% (ALVARAES et al., 2014; CLIMATE-DATA, 2022).

Segundo a Embrapa (2003), são encontrados solos dominantes como o Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Plintossolo Háplico, Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico, contudo, de acordo com IBGE (2010), o solo da área é predominantemente do tipo Latossolo Amarelo distrófico- LAd.

O município é formado por um ecossistema considerado típico da Região Amazônica, ou seja, típica de florestal tropical úmida de terra firme. Sua vegetação é classificada, segundo o IBGE (2022) como Floresta Ombrófila Densa.

3.1.2. Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na propriedade da Empresa Agropecuária Aruanã S. A. (Fazenda Aruanã), localizada na Rodovia AM - 010 Manaus-Itacoatiara, km 213, município de Itacoatiara, Amazonas, Brasil. A propriedade abrange uma área total de 14.310,34 hectares, com 1.257.000 castanheiras plantadas. Sua maior especialidade é o cultivo de castanheira (*Bertholletia excelsa*) e pupunheira (*Bactris gasipaes*) para palmito.

Foram selecionadas três áreas, sendo dois povoamentos de castanha-da-amazônia, com idade de 3 e 25 anos e uma área de floresta nativa com as coordenadas geográficas, 02°59'43,79" S e 58°48'47,90" W; 03°01'20,64" S e 58°49'55,23" W; e 02°59'43,31" S e 58°48'43,830" W, respectivamente (Figura 1).

Foram selecionadas as duas áreas cultivadas com castanha-da-Amazônia a fim de avaliar possíveis impactos na erodibilidade do solo, através do processo de conversão de floresta.

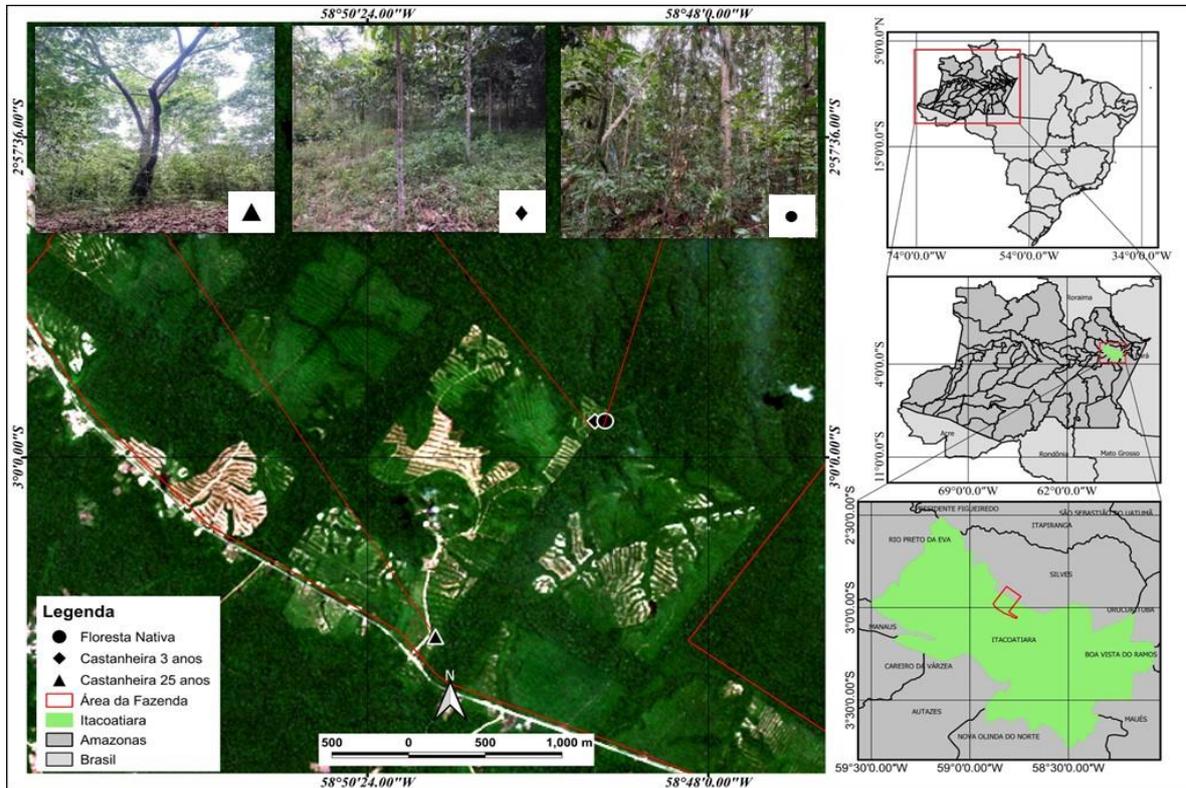


Figura 1 - Localização e modelo de elevação digital das áreas com castanheira de 25 e 03 anos e floresta nativa, no município de Itacoatiara, Amazonas.

Fonte: Jardim (2023)

3.1.3. Histórico da área de estudo

Constituída em 1970, a empresa iniciou suas atividades em Itacoatiara implantando a Fazenda Aruanã. Foi realizado a derrubada e queima da vegetação para a implantação de pastagens, o qual foi mantida até 1973. No entanto, devido a degradação das pastagens e baixa produtividade agrícola, foi necessário a busca por outra alternativa que fosse sustentável e econômica.

Os primeiros povoamentos de castanheira foram plantados em 1981, utilizando-se o espaçamento de 20 x 20 m (25 árvores por hectare). A partir de 1985, os plantios começaram a ser realizados em espaçamento menores de 10 x 10 m (100 árvores por hectare), plantios estes destinado à produção de frutos. Anos depois, visando a produção de madeira e principalmente a reposição florestal, foram plantados em espaçamento mais adensado de 2,5 x 1,5 m (2.666 árvores por

hectare). As mudas são produzidas pela própria empresa, e não são adubadas, assim como todo o plantio ocorre sem adubação mineral.

Vale ressaltar que na área com plantio de 25 anos selecionada para este estudo, recentemente, foi realizado novos plantios adensados visando a produção de madeira para confecção de barris.

3.2. Metodologia de campo

Nas áreas selecionadas, foram estabelecidas malhas de 70 x 70 m, com linhas abertas a cada 10 m (totalizando 8 linhas) (Figura 2). No ponto de cruzamento dessas malhas, foram abertas mini trincheiras (Figura 3A) para a coleta das amostras de solo na profundidade de 0,00-0,20 m (horizonte superficial) (Figura 3B), totalizando 64 pontos amostrais por área e um total de 192 amostras nas três áreas avaliadas. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).



Figura 2 - Esquema de amostragem da malha de 70x70.



Figura 5 – Etapa para coleta: (A) Abertura mini trincheira; (B) Coleta de solo em forma de torrão.
Fonte: Oliveira (2023)

3.3. Análises de laboratório

Após as coletas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratórios de Solos do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas (CESIT/UEA) para serem preparadas e analisadas de acordo com metodologia adotada para cada análise.

As amostras foram secas à sombra, destorroadas e posteriormente, passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) (Figura 4). Esta, por sua vez, foi utilizada para as análises granulométricas e determinação do carbono orgânico do solo.



Figura 7 - Etapas para obtenção das amostras de TFSA. (A) Secagem ao ar; (B) Processo de destorroamento; (C) Peneiramento das amostras.

A análise granulométrica foi determinada utilizando o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica utilizando o agitador de provetas, em aparato de rotação lenta por 16 horas a 50 rpm, seguindo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). A fração areia foi separada por tamisação, a fração argila por sedimentação e o silte foi calculado pela diferença. Os valores médios das variáveis da textura para os ambientes estudados encontram-se organizados na Tabela 1.

O carbono orgânico do solo (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988). Já a matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada pelo produto do CO pelo fator 1,724.

Tabela 1 - Análise granulométrica dos ambientes estudados.

Áreas	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	g.Kg ⁻¹			
Floresta Nativa (FN)	69,01	220,07	710,92	Muito argilosa
Castanheira – 03 anos (CA03)	74,13	242,52	683,35	Muito argilosa
Castanheira – 25 anos (CA25)	91,31	232,16	676,53	Muito argilosa

3.3.1. Determinação dos Fatores de Erodibilidade (K, Ki, Kr) e Tensão Cisalhante (Tc)

Para determinação da estimativa da erodibilidade, foram utilizados modelos indiretos de predição, no qual estimam os valores dos fatores erodibilidade através de equações que envolvem os valores dos atributos do solo analisados em laboratório. Assim, neste trabalho utilizou-se os modelos USLE (*Universal Soil Loss Equation*) e WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) para determinação dos fatores condicionantes da erosão nas áreas em estudo.

A areia obtida na análise granulométrica foi fracionada para determinação das dimensões das partículas sólidas analisadas, com intuito de estimar os fatores da erodibilidade. Para análise, foi utilizado um agitador de peneiras, com reostato digital marcador de tempo e frequência, para o fracionamento das partículas através das vibrações que aceleram o peneiramento. Cada amostra foi agitada durante 3 minutos utilizando-se as peneiras comuns com malhas de 2; 1; 0,5; 0,250; 0,125 e 0,053 mm. As peneiras foram arranjadas de modo a poderem ser encaixadas umas nas outras formando uma coluna de peneiração. Na parte superior desta coluna há uma tampa para evitar perdas de material durante a peneiração, e na base encaixa-se uma peneira "cega", denominada "pan", destinada a receber as partículas menores que atravessarem toda a coluna sem serem retidas em nenhuma das peneiras.

Para o cálculo da erodibilidade global do solo da USLE (fator K: t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) foi utilizada a equação proposta por Denardin (1990) (Eq. 1):

$$K = 7,48 \times 10^{-6} M + 4,48059 \times 10^{-3} p - 6,31175 \times 10^{-2} X_{27} + 1,039567 \times 10^{-2} X_{32} \quad (1)$$

em que:

Novo silte = silte + areia muito fina, %;

Nova areia = areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina, %.

M = novo silte x (novo silte + nova areia);

p = permeabilidade, segundo Wischmeier et al. (1971) (Tabela 2);

$X_{27} = [(0,002 \times \text{argila, \%}) + (0,026 \times \text{silte, \%}) + (0,075 \times \text{areia muito fina, \%}) + (0,175 \times \text{areia fina, \%}) + (0,375 \times \text{areia média, \%}) + (0,75 \times \text{areia grossa, \%}) + (1,5 \times \text{areia muito grossa, \%})] / (\text{argila, \%} + \text{silte, \%} + \text{areia, \%})$;

$X_{32} = \text{nova areia} \times (\text{Matéria Orgânica \%}/100)$.

Tabela 2- Classes textural e classes de permeabilidade do solo.

Classe textural	Classe de permeabilidade*	Permeabilidade
Muito argilosa, Argilosa e Argilo-siltosa	6	Muito lenta
Franco-argilo-siltosa e Argilo-arenosa	5	Lenta
Franco-argilo-arenosa e Franco-argilosa	4	Lenta e moderada
Franca, Franco-siltosa e Siltosa	3	Moderada
Areia-franca e Franco-arenosa	2	Moderada e rápida
Arenosa	1	Rápida

Fonte: *Wischmeier et al. (1971).

Para o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo Wepp (Fator K_i : Kg.s.m^{-4}) foram utilizadas as equações propostas por Flanagan e Livingston (1995) (Eq. 2 e 3):

$$K_{iWEPP} = 2728000 + 192100 \text{ AMF}, \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (2)$$

$$K_{iWEPP} = 6054000 - 55130 \text{ ARG}, \quad \text{areia} < 30\% \quad (3)$$

em que,

AMF = percentual de areia muito fina, %;

ARG = percentual de argila, %

Para calcular a erodibilidade em sulcos (Fator Kr: s.m⁻¹) e a tensão cisalhante (Tc: N.m⁻²) do modelo Wepp foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston (1995) (Eq. 4, 5, 6 e 7):

$$K_{rWEPP} = 0,00197 + 0,00030 \text{ AMF} + 0,03863e^{(-1,84 \text{ MO})} \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (4)$$

$$T_{cWEPP} = 2,67 + 0,065 \text{ ARG} - 0,058 \text{ AMF} \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (5)$$

$$K_{rWEPP} = 0,0069 + 0,134e^{(-0,20 \cdot \text{ARG})} \quad \text{areia} < 30\% \quad (6)$$

$$T_{cWEPP} = 3,5 \quad \text{areia} < 30\% \quad (7)$$

em que:

AMF = percentual de areia muito fina, %;

e = base dos logaritmos neperianos;

MO = percentual de matéria orgânica do solo, %;

ARG = percentual de argila, %;

3.4. Análise dos dados

Após a determinação dos atributos da erodibilidade e matéria orgânica do solo, os dados foram submetidos a análise descritiva, onde foram calculados os valores de média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, mínimo e máximo das variáveis. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância, no software estatístico Statística 7.0 (STATSOFT, 2004).

O coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: CV < 12%, 12 < CV < 60%, e CV > 60% para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente

A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar médias dos atributos individualmente pelo teste de t *Student* (p < 0,05), utilizado o software Assistat 7.7. O teste t *Student* foi utilizado para comparar as áreas de cultivadas com castanha (CA03 e CA25) com a floresta nativa (área referência).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a geoestatística para os atributos da erodibilidade e MO. Para se fazer a análise geoestatística, foi necessária saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, onde foi verificado por meio do gráfico do semivariograma, estimado pela equação 8.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (8)$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ o valor da semivariância para uma distância

h ; $n(h)$ o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ o valor do atributo Z na posição x_i ; e

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

Para estes cálculos, utilizou-se o software GS+ 7.0 (GAMMA DESIGN, 2004), a fim de definir os coeficientes de determinação (R^2) para escolha do melhor modelo teórico para o semivariograma. Este, por sua vez, será definido pelos parâmetros, como os modelos (linear, esférico, gaussiano, exponencial), efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C) e alcance (a).

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1) for menor que 25%. Se a razão estiver entre 25 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Após a modelagem estatística, os dados gerados foram interpolados por krigagem para elaboração dos mapas de isolinhas utilizando o programa Surfer 13.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, assim como análise de variância para os atributos da erodibilidade e matéria orgânica do solo avaliados para as duas áreas de castanheira (CA03 e CA25) em comparação com a área de floresta nativa, estão apresentados na Tabela 3. Por meio dos resultados, verifica-se que as medidas de tendência central (média e mediana) mostraram valores bem próximos para todos os atributos avaliados, indicando que os mesmos possuem ou se aproximam de uma distribuição normal. Este resultado se assemelha aos encontrados por Brito et al. (2020) e Souza et al. (2022) ao determinar os atributos da erodibilidade em solos amazônicos.

Quanto aos resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov, os mesmos indicaram normalidade para todos os atributos da erodibilidade avaliados na profundidade 0,00-0,20 m, sendo assim, os resultados encontrados neste estudo indica uma boa homogeneidade e boa representatividade das amostragens realizadas.

Ao adotar os limites de coeficiente de variação (CV%) propostos por Warrick e Nielsen (1980), é possível afirmar, com base nos valores encontrados, que na área de floresta nativa, os atributos da erodibilidade apresentaram média variabilidade ($12\% < CV < 60\%$), com exceção do Fator K, na área CA03, todos os atributos apresentaram média variabilidade e na área CA25, baixa variabilidade ($CV < 12\%$), com exceção da MO, conforme os limites estabelecidos.

Segundo Camargo et al. (2008) e Montanari et al. (2008), a ocorrência de valores extremamente altos ou baixos ocorrentes no campo faz com que o CV, mesmo que sejam medianos, não seja considerado um bom indicador da variabilidade espacial dos atributos do solo.

Em relação aos resultados do teste t Student ($p < 0,05$), é possível observar que os maiores valores de MO encontrados seguiram a sequência de CA25 > floresta > CA03, de modo que as respectivas áreas apresentaram diferenças significativas. Para justificar tais resultados deve se entender que os teores de MO no solo é dependente de vários fatores, como clima, topografia, textura do solo, drenagem, cobertura vegetal e o uso da terra (GUERRA et al., 1990), que podem contribuir para aumentar ou diminuir o estoque de carbono orgânico no solo. Desta forma, a MO pode ser considerado um bom indicador de qualidade do solo, por ser sensível as mudanças de manejo (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013; FREITAS, 2014).

Tabela 3 - Teste de média e estatística descritiva dos atributos da erodibilidade do solo na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de floresta nativa e plantio de castanheiras (03 e 25 anos) no município de Itacoatiara, AM.

Estatística Descritiva	Fator K	Ki _{wepp}	Kr _{wepp}	Tc _{wepp}	MO
	t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹	Kg s m ⁻⁴	s m ⁻¹	N m ⁻²	g.Kg ⁻¹
Floresta Nativa (FN)					
Máximo	4,93 x 10 ⁻²	3,72 x 10 ⁶	6,93 x 10 ⁻³	3,5	44,97
Mínimo	2,75 x 10 ⁻²	1,33 x 10 ⁶	6,90 x 10 ⁻³	3,5	9,34
Média	3,18 x 10⁻² a	2,13 x 10⁶ a	6,90 x 10⁻³ a	3,5 a	29,79 b
Mediana	3,18 x 10 ⁻²	2,14 x 10 ⁶	6,90 x 10 ⁻³	3,5	29,79
DP	3,29 x 10 ⁻³	3,74 x 10 ⁵	0,00	–	7,10
CV (%)	10,33	17,55	0,00	–	23,83
K-S	0,15	0,12	0,45	–	0,09
Castanheira - 3 anos (CA03)					
Máximo	7,33	5,06 x 10 ⁶	1,05 x 10 ⁻²	3,5	32,60
Mínimo	2,90 x 10 ⁻²	1,81 x 10 ⁶	6,90 x 10 ⁻³	3,5	10,70
Média	3,24 x 10⁻² a	2,29 x 10⁶ b	6,90 x 10⁻³ a	3,5 a	23,49 c
Mediana	3,16 x 10 ⁻²	2,25 x 10 ⁶	7,00 x 10 ⁻³	3,5	23,35
DP	5,35 x 10 ⁻³	3,87 x 10 ⁵	4,50 x 10 ⁻⁴	–	3,86
CV (%)	16,50	16,93	6,52	–	16,43
K-S	0,33	0,26	0,53	–	0,70
Castanheira - 25 anos (CA25)					
Máximo	3,75 x 10 ⁻²	2,90 x 10 ⁶	6,90 x 10 ⁻³	3,5	48,09
Mínimo	2,84 x 10 ⁻²	1,57 x 10 ⁶	6,90 x 10 ⁻³	3,5	21,54
Média	3,25 x 10⁻² a	2,32 x 10⁶ b	6,90 x 10⁻³ a	3,5 a	32,44 a
Mediana	3,24 x 10 ⁻²	2,35 x 10 ⁶	6,90 x 10 ⁻³	3,5	31,86
DP	1,98 x 10 ⁻³	2,70 x 10 ⁵	0,00	–	6,20
CV (%)	6,09	11,64	0,00	–	19,11
K-S	0,06	0,07	0,15	–	0,08

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. *Significativo a 5% de probabilidade; CO: carbono orgânico; MO: Matéria orgânica; Fator K: erodibilidade global; Ki_{wepp}: erodibilidade em entressulcos; Kr_{wepp}: erodibilidade em sulcos; Tc_{wepp}: Tensão cisalhante; (wepp: Projeto de predição da erosão hídrica); Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste T (p < 0,05).

A área de CA25 apresentou maiores valores de MO quando comparado com as demais áreas. Esses maiores valores deve-se ao elevado aporte de serrapilheira depositado sobre o solo, que funciona como barreira física ao impacto das gotas da chuva, proporcionando alterações positivas nos atributos físicos, químicos e mineralógicos, além de favorecer a ciclagem de nutrientes e a manutenção de maior umidade na área (BARRETO et al., 2011). Segundo Lopes (2018), a produção anual de serrapilheira foliar produzida por uma área de castanheira com 10 anos de plantio

fica em torno de 5,1 Mg ha⁻¹. Este valor se aproxima ao encontrado por Luizão (1989) em florestas de platô na Amazônia Central (5,4 Mg ha⁻¹).

Neste contexto, isto implica no alto valor de MO encontrado na área com cultivo mais estabelecido (CA25) seguido da floresta nativa, demonstrando que a cobertura vegetal proporcionada pelo aporte de resíduos provenientes da própria cultura e o tipo de manejo adotado pode favorecer a qualidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2018), que avaliando os atributos químicos do solo após conversão de floresta nativa em áreas cultivadas com cupuaçu encontrou os maiores valores para o solo cultivado, de acordo com o autor, os maiores valores são decorrentes do aporte de serrapilheira da cultura, o tempo de estabelecimento da cultura (7 anos) e a ausência de manejo intensivo no solo.

Em contrapartida, a redução do teor de MO observada para área de CA03 pode também levar a um aumento da densidade do solo, da resistência do solo a penetração e diminuição da porosidade total, que dificultará a infiltração de água, favorendo o escoamento superficial e transporte das partículas de solo, sendo esse o principal processo associado a erosão hídrica (GUERRA et al., 1990; BEZERRA et al., 2010).

Ao analisar os resultados da erodibilidade global (Fator K), é possível afirmar que o cultivo não interferiu de forma significativa nesse atributo, pois observou-se que as áreas estudadas apresentaram valores de K muito próximos, variando de 3,18 x 10⁻², 3,24 x 10⁻² e 3,25 x 10⁻² t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹, para as áreas de FN, CA03 e CA25, respectivamente (Tabela 3). De acordo com o estudo de Denardin (1990), o qual avaliou os valores de K para Latossolos brasileiros, verificou-se valores variando de 2,00 x 10⁻² a 3,40 x 10⁻² t.h⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹, comprovando que os valores obtidos neste estudos estão dentro do previsto por esse autor.

Contudo, de acordo com Castro et al. (2011), a erodibilidade do solo pode ser classificada em classes segundo seu potencial em: $K < 9,00 \times 10^{-3}$ (muito baixa); $9,00 \times 10^{-3} < K \leq 1,50 \times 10^{-2}$ (baixa); $1,50 \times 10^{-2} < K \leq 3,00 \times 10^{-2}$ (média); $3,00 \times 10^{-2} < K \leq 4,50 \times 10^{-2}$ (alta); $4,50 \times 10^{-2} < K \leq 6,00 \times 10^{-2}$ (muito alta), e $K > 6,00 \times 10^{-2}$ (extremamente alta). Nesse sentido, foi possível classificar os valores encontrados para as áreas estudadas na classe de alta erodibilidade, tal resultado manifesta preocupação quanto a adoção eficiente de práticas conservacionistas.

Sabendo que o Fator K pode variar de solo para solo de acordo com sua textura e tipo de manejo, é possível aferir que a classificação textural encontrada

(Tabela 1) bem como a classificação da permeabilidade (Tabela 2) influenciaram na maior suscetibilidade a erosão para todas as áreas. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), a erodibilidade influencia na determinação da perda de solo principalmente em áreas oriundas de solos com horizonte subsuperficial com acúmulo de argila, favorecendo o escoamento superficial.

Estes resultados se diferenciam dos encontrados por Souza et al. (2022) que ao determinar a erodibilidade global em solos com diferentes sistemas de usos tradicionais no sul do Amazonas, encontrou erodibilidade de classe muito alta. Todavia, os resultados do referido autor está relacionado a dominância da fração silte em todas as áreas estudadas.

O fato do cultivo não interferir neste atributo, provavelmente, deve-se a ausência de um manejo intesivo, ou seja, a não utilização de técnicas de preparo de solo (aração e gradagem) por parte da empresa, bem como a cobertura existente ao longo do ano que evita deixar o solo totalmente exposto, evidenciando a importância dos plantios florestais.

Analisando os resultados obtidos dos fatores K_{iwepp} (erosão entressulcos) foi possível observar que as áreas CA03 e CA25 não apresentaram diferença significativa entre si, no entanto, diferiram estatisticamente da floresta nativa ($2,13 \times 10^6 \text{ Kg.s.m}^{-4}$). Diante disto, as áreas CA03 ($2,29 \times 10^6 \text{ Kg.s.m}^{-4}$) e CA25 ($2,32 \times 10^6 \text{ Kg.s.m}^{-4}$) apresentaram maior predisposição a sofrer erosão entressulcos. Os valores podem está associados ao período que os solos ficaram sem cobertura, visto que, o cultivo destas espécies foi implantado em antigas áreas de pastagens.

Segundo Franco et al. (2012), a erodibilidade entressulcos tende a diminuir em solos tropicais que apresentem alto teor de argila total e óxidos de ferro, sendo este, um dos possíveis fatores que justificam este resultado, ou seja, o alto teor de argila encontrado na área FN, influenciou na maior resistência do solo a sofrer erosão entressulcos.

A erosão entressulco inicia com a ação cinética das gotas de chuva sobre o solo, que desagregam suas partículas, influenciando na perda de grande quantidades de solo (CASSOL; LIMA, 2003). Em vista disso, a complexidade estrutural das espécies arbóreas auxilia no controle da erosão devido interceptação da chuva pelo dossel, aumento da infiltração de água e manutenção do teor adequado de MO (OLIVEIRA; SILVA; KLINKE NETO, 2020).

Quanto a variável $K_{r_{wepp}}$ (erosão em sulcos) foi possível observar que as áreas estudadas não apresentaram diferença estatística entre si, apresentando média de $6,90 \times 10^{-3} \text{ s m}^{-1}$ para todas elas, assim como a T_c (tensão cisalhante crítica) ($3,5 \text{ N.m}^{-2}$), tornando os valores constantes, ou seja, homogêneos. Esses resultados devem-se a constituição da areia, que foi menor que 30%, invertendo as variáveis de serem utilizadas na estimativa da erodibilidade, onde geralmente é utilizado o percentual de areia muito fina e MO, no entanto, neste estudo, o $K_{r_{wepp}}$ foi estimado baseando-se no teor de argila ($K_{r_{WEPP}}=0,0069+0,134e^{(-0,20*ARG)}$).

A tensão cisalhante crítica é definida por Enriquez et al. (2015), como a força hidráulica requerida para iniciar o desprendimento das partículas de solo, ou seja, representa a magnitude de resistência do solo a sofrer erosão. Ao observar os estudos sobre estimativa da erodibilidade do solo realizado por Brito et al. (2020), Lima et al. (2020) e Silva (2021), a tensão cisalhante foi inferior a $3,5 \text{ N.m}^{-2}$ para a maioria das áreas estudadas, demonstrando que as áreas selecionadas para este estudo sinalizam uma certa resistência ao início do processo erosivo.

Portanto, com a estatística descritiva foi possível verificar pequena variação nos atributos da erodibilidade e MO dos solos de floresta nativas e das áreas cultivadas com castanheiras. Assim, esses dados aliados ao princípio da geostatística permite a análise da variabilidade dos atributos pela análise de dependência espacial, facilitando a compreensão do padrão de ocorrência desses atributos (AQUINO et al., 2014).

Na figura 5 estão representados os modelos de semivariograma escolhidos para as variáveis em estudo. Foi possível observar por meio dos resultados, que os atributos apresentaram dependência espacial, ajustando-se, predominantemente ao modelo esférico, com valores de R^2 acima de 0,71.

De acordo com Azevedo (2004), o R^2 acima de 0,6 assegura um bom desempenho da interpolação pela krigagem ordinária, além de afirmar que o ajustes nos semivariogramas captam as estruturas de variação espacial do meio amostral.

Esses ajustes foram realizados utilizando-se como critérios de escolha o melhor coeficiente de determinação (R^2) que é muito usual e é um dos principais parâmetros de qualidade considerados em trabalhos com geostatística aplicada a solos em diferentes ambientes (AQUINO et al. 2015, LEMOS FILHO et al., 2017; LOURENÇO et al., 2020), onde o seu melhor ajuste se dá quanto mais próximo de 1

o valor de R^2 , além de apresentar os pontos mais próximos ao modelo matemático (esférico ou exponencial) e presença de patamar bem definido.

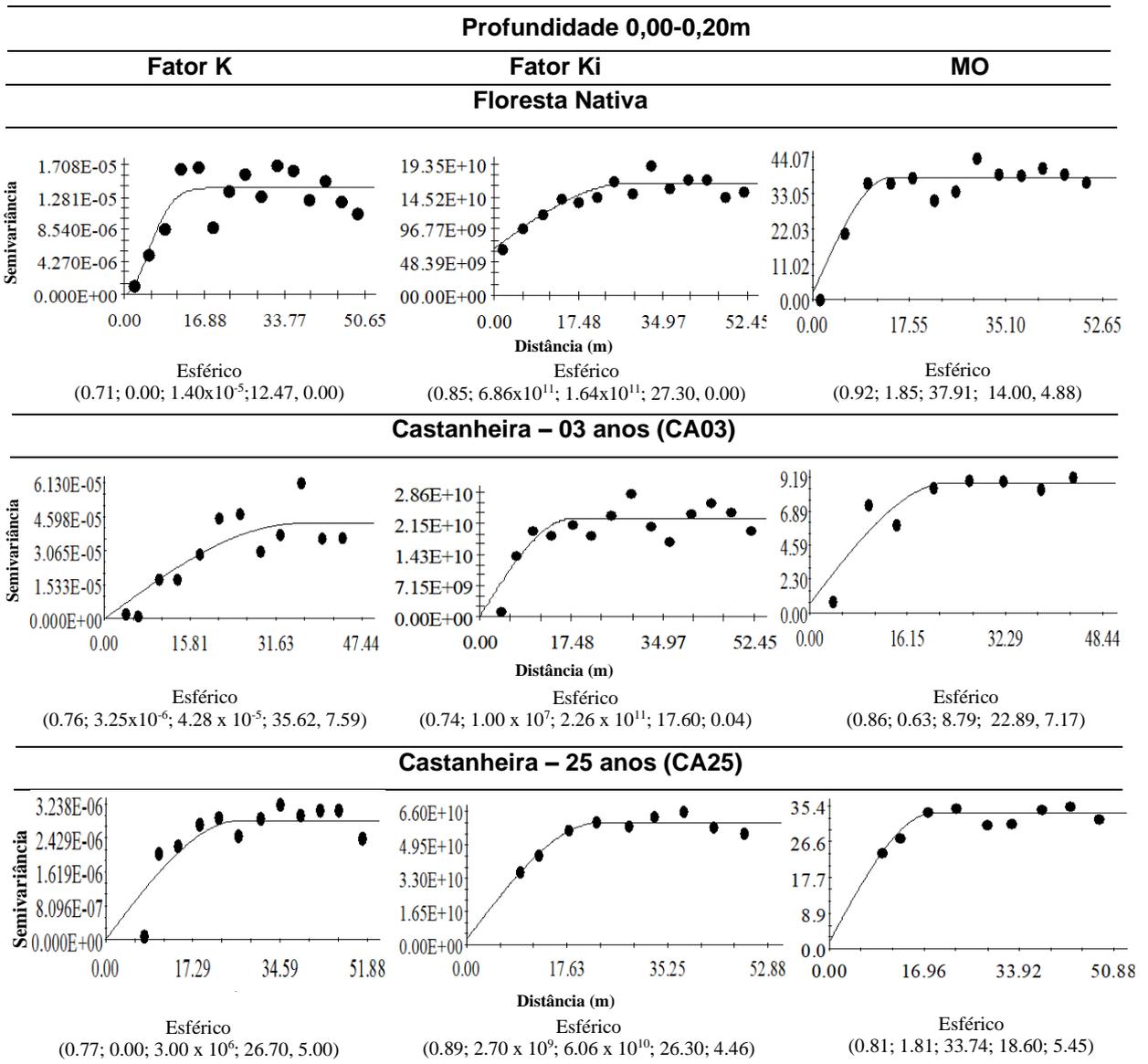


Figura 9 - Semivariogramas experimentais ajustados dos atributos da erodibilidade na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de floresta e castanheira (03 e 25 anos) no município de Itacoatiara, AM. Modelo (R^2 , C_0 ; C_1+C_0 ; alcance (a); GDE).

Quando analisados os resultados do grau de dependência espacial (GDE), expresso pela razão entre o efeito pepita e o patamar ($C_0/(C_0+C_1) \times 100$), seguindo a classificação de Cambardella et al. (1994), observou-se que os atributos da erodibilidade mostraram forte dependência espacial ($GDE \leq 25\%$), variando desde 0 a 7,59%. Portanto, é possível aferir que as distribuições dos atributos da erodibilidade

não são aleatórias, uma vez que todos apresentaram valores fortes para o grau de dependência espacial.

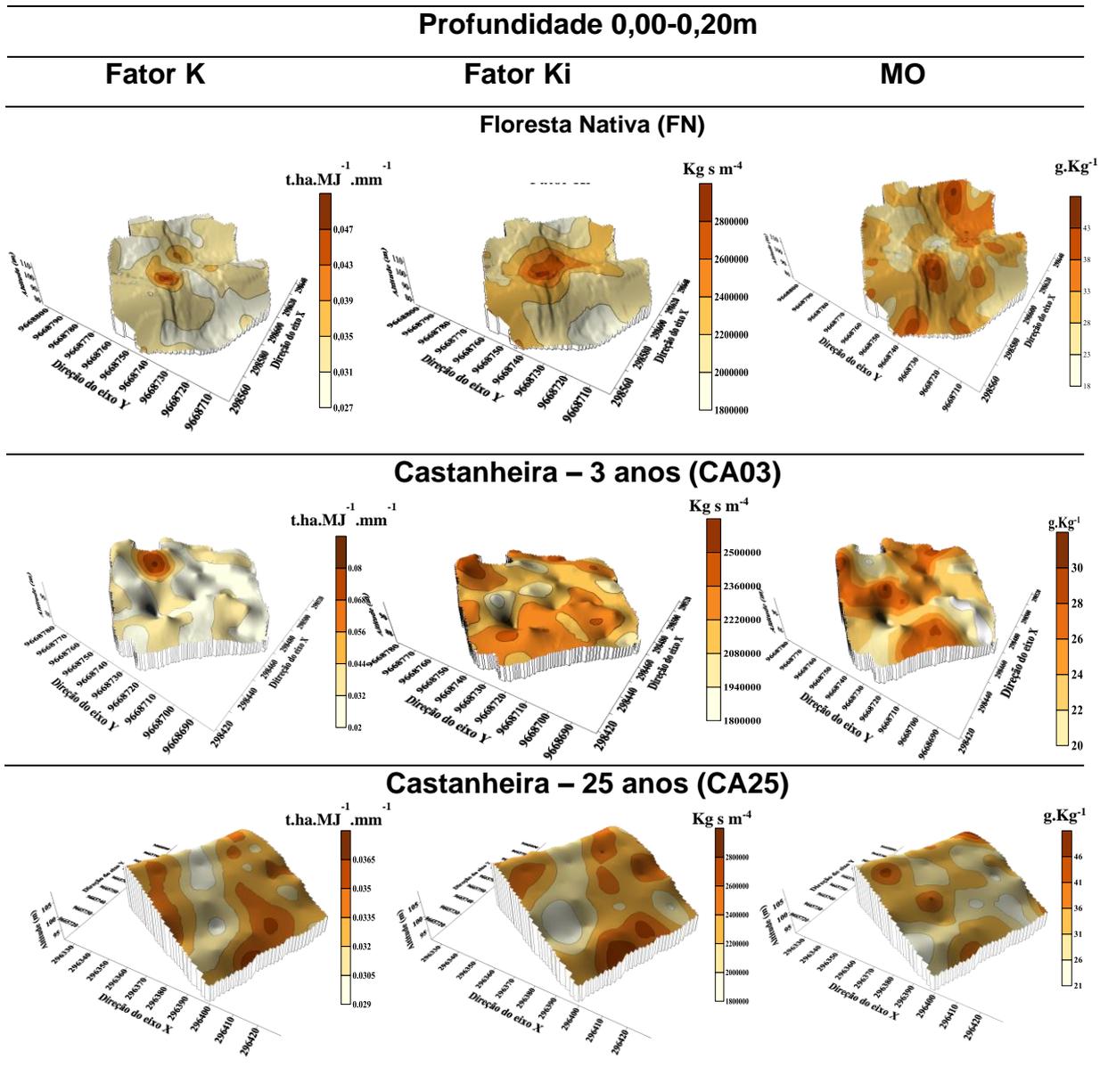


Figura 6 - Mapas de krigagem dos atributos Fator K: erodibilidade global do solo; Ki_{wep}: erodibilidade em entressulcos e matéria orgânica das áreas de floresta nativa, CA03 e CA25 no município de Itacoatiara, AM.

Tais resultados se diferem com os encontrados por Miqueloni e Bueno (2011) e Souza et al. (2022), realizando análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo no sul do Amazonas, onde os valores de GDE variaram de moderada a forte em ambos trabalhos.

O alcance (a) constituiu um importante parâmetro de medida, pois a partir dele, é possível definir o raio de amostragem em que os atributos estudados apresentam diferentes valores de alcance com valores acima do estipulado pela malha (SOARES et al., 2018; FONSECA et al., 2019), ou seja, verifica se que o espaçamento amostral utilizado foi adequado para se verificar a dependência espacial, ou então, a máxima distância a qual as variáveis correlacionam-se entre si.

Tomando como base os resultados encontrados, observou-se que as variáveis em estudo apresentaram diferentes valores de alcance, de modo que os menores valores foram observados na área de FN, para o Fator K da ordem de 12,47 m. Quanto aos outros valores para os demais atributos e demais áreas, ficaram em torno de 14,0 a 25,62 m, isso significa que todos os valores dentro desse raio podem ser usados na estimativa em espaçamentos mais próximos. Com isso, afirma-se que o espaçamento amostral utilizado neste estudo foi adequado para verificar a dependência espacial, gerando valores confiáveis, além de servir de referência para trabalhos futuros na mesma área e até na mesma região.

Na Figura 6, são apresentados os mapas de isolinhas interpolados por meio da krigagem ordinária referente aos atributos da erodibilidade do solo e MO. Os maiores valores, em todos os parâmetros estudados, estão representados por cores/manchas mais escuras nos mapas. Nos mapas é possível visualizar a variabilidade espacial que cada variável apresenta ao longo das áreas em estudo.

Em um estudo realizado por Souza et al. (2003), ao avaliar a influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo, constataram maior variabilidade de atributos do solo e da erosão na pedofoma côncava, ou seja, houve maior perda nas partes mais altas e maior acúmulo nas áreas mais baixas, contudo, não foi possível observar nas áreas de estudo.

Em se tratando de padrão espacial, de maneira geral, é possível observar que nas áreas em que os fatores de erodibilidade e erosão entressulcos possuem altos valores, ao observar no mapa de krigagem da MO, este efeito se mostra o contrário, ou seja, nas áreas que possuem maior teor de MO, menor será a suscetibilidade do solo ao sofrer erosão, comprovando a importância do aporte de serapilheira na proteção do solo.

De modo geral, é possível verificar que atributos da erodibilidade são influenciados pelo relevo e pela MO, situação vista em vários trabalhos (BRITO et al.

2020, SILVA et al. 2020, SOUZA et al., 2022). Assim, deve-se considerar a paisagem como fator relevante para o entendimento os processos erosivos.

5. CONCLUSÕES

Ao avaliar a conversão de floresta nativa em áreas cultivadas com castanha com idades de 3 e 25 anos, estatisticamente, não foi observado efeito sobre a erodibilidade global do solo, evidenciando que a implantação desta cultura não provocou impactos neste atributo. Estas áreas foram classificadas em alta erodibilidade.

A matéria orgânica do solo, por ser sensível a alteração antrópica causada no solo, enfatizou que para cultivos com maior tempo de implantação, o mesmo pode aumentar ou igualar os teores de MO de uma floresta nativa, favorecendo desta forma a qualidade do solo.

A estimativa da erodibilidade pela WEPP mostrou que as áreas cultivadas possuem maior predisposição a sofrer erosão entressulcos, revelando efeito negativo desse sistema de cultivo, no entanto, considerando a tensão cisalhante crítica, tanto as áreas cultivadas quanto a área de floresta, ambas sinalizam resistência ao início do processo erosivo.

A partir da análise geoestatística observou-se estrutura de dependência espacial nos atributos analisados indicando a heterogeneidade no ambiente. Os mapas de krigagem possibilitaram a melhor distribuição dos atributos da erodibilidade sobre a área estudada, além de observar a influência do relevo nestes atributos.

Esses resultados podem auxiliar em trabalhos futuros de mapeamento de plantios de castanheiras, visando a conservação e o manejo sustentável.

6. REFERÊNCIAS

AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena**, Amsterdam v.64, n.1, p.247-271, 2005.

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.

AMORIM, R. S. S. ; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; DE MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1.046-1.049, 2010.

AQUINO, R. E. D.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A. D.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 397-406, 2014.

ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. A. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.7, p.731–740, 2011.

ARAÚJO, R. C. **Estudo da Erodibilidade de um solo da Formação Barreiras**. 2000, 147 p. Dissertação de Mestrado em Geotecnia - Departamento de Engenharia Civil, PUC – Rio, 2000.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do tijuco, sp. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.

AZEVEDO, E.D. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). 2004.

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; FONTES, A.G.; POLIDORO, J.C.; MOÇO, M.K.S.; MACHADO, R.C.R.; BALIGAR, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, Switzerland, v.81, n.3, p.213-220, 2011.

BARROS, J. S.; CASTRO, A. A. J. F. Compartimentação geoambiental no complexo de Campo Maior, PI: uma área de tensão ecológica. **Interações** (Campo Grande), v. 8, n. 13, 2016.

BASTOS, C. A . B. **Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999, 300 p. Tese - Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: RS, 1999.

BAYMA, M. M. A.; MALVAZI, F. W.; DE SÁ, C. P.; FONSECA, F. L.; ANDRADE, E. P.; WADT, L. D. O. Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 9, n. 2, p. 417-426. 2014.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo, Ícone. 2008. 355p.

BEZERRA, S. A.; BARROS CANTALICE, J. R.; CUNHA FILHO, M.; SILVA SOUZA, W. L. D. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do Semiárido do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 4, p. 1325-1332, 2010.

BRITO, W. B. M et al. Dinâmica e aspectos espaciais da erodibilidade em Terra Preta Indígena na Amazônia, Brasil. **Catena** , v. 185, 2020.

BRANDÃO, W. Utilização de métodos geoestatísticos de krigeagem ordinária e krigeagem por indicação na interpolação de dados geoquímicos de solos: uma comparação. In: **Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2001, Foz do Iguaçu. Anais do X SBSR Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2001. p. 387-394.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 1501–1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 2, p. 102-109, maio-agosto, 2012.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 117-124, 2003.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima Itacoatiara. 2022. Disponível em:<<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/amazonas/itacoatiara-879515/>> Acesso em: 18 abr. 2022.

CÂNDIDO, B. M; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BATISTA, P. V. G.. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1565–1575, 2014.

COSTA, J. R.; CASTRO, A. B. C.; WANDELLI, E. V.; CORAL, S. C. T.; SOUZA, S. A. G. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, vol. 39, n. 4, p. 843 – 850. 2009.

COUTO, B. O. C. **Análise de erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos**. 2015, 124 p. Dissertação de Mestrado em Geotecnia - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2015.

COUTO, B. O. C.; GOMES, R. C.; FERREIRA, L. D. Avaliação da erodibilidade de diferentes horizontes em latossolos por meio da resistência não drenada em campo: Estudo de caso na região do Quadrilátero Ferrífero–MG. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 169-180, 2021.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DENARDIN J. E. **Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990, 81p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DI RAIMO, L. A. D. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, p. 55-67, 2019.

DUARTE, M. L.; SILVA FILHO, E. P.; BRITO, W. B. M.; Silva, T. A. Determinação Da Erodibilidade Do Solo Por Meio De Dois Métodos Indiretos Em Uma Bacia Hidrográfica Na Região Sul Do Estado Do Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F. D.; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. D. erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 796-803, 2013.

EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento de Alta Intensidade dos Solos do Município de Itacoatiara - Estado do Amazonas**. Belém, 2003.

ENRIQUEZ, A. G., SILVA, D. P. D., PRUSKI, F. F., GRIEBELER, N. P., & CECON, P. R. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de drenagem de estrada rural não pavimentada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 160-165, 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Status of the World's Soil Resources**, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf>.> Acesso em: 25 ago. 2020.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 393-401, abr.-jun., 2012.

FLANAGAN, D. C.; LIVINGSTON, S. J. (1995). **Water erosion prediction project: WEEP user summary**. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA – Agricultural Research Service, Report 11, p 25-26.

FONSECA, J. S; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; AQUINO, R. E.; LOURENÇO, I. H.; JORDÃO, H. W. Uso de semivariograma escalonado na variabilidade espacial da textura do solo em uma área de terra preta arqueológica sob floresta em Manicoré-AM. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 1, p. 102-116, 2019.

FREITAS, L. D. **Qualidade e erodibilidade de latossolos sob mata e cultivo de cana-de-açúcar**. 2014. p. 125. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista – UNESP. São Paulo: Jaboticabal, 2014.

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**, Marília/SP, V. 26, (1-2), pp. 08-25, 2017.

FRANCO, A.M.P.; CASSOL, E.A.; PAULETTO, E.A. & INDA, A.V. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argissolo vermelho. **Revista Brasileira Agrociência**, vol. 18, n. 24, p. 175-187, 2012

GOMES, R. P.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; CUNHA, J. M.; FRANCISCON, U.; 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, 2017.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GUEDES, M. C.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MELEM JUNIOR, N. J.; SILVA, K. E. (2017). Classificação do solo e relação com densidade e produção de castanheiras na Amazônia Oriental. In Embrapa Amapá-Resumo em anais de congresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2017, Belém, PA. Amazônia e seus solos: peculiaridades e potencialidades. Belém, PA: SBCS, 2017.

GUERRA, A. J. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação de solos: conceitos temas e aplicações. 11º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020, 340 p.

GUERRA, A. J. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do instituto de geociências**, v. 13, p. 43-52, 1990.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. **Mapa de Vegetação do Estado do Amazonas**. 2010. Escala 1: 1.800.000. Rio de Janeiro.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de dados do IBGE**. 2022. Disponível

em:<http://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/unidades_da_federacao/am_vegetacao.pdf> Acesso em: 18 abr. 2022.

LIMA, F. V. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 53-63, 2015.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposseqüência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 59-68, 2006.

LOCATELLI, M., VIEIRA, A. H., SOUZA, V. F. Aspecto do cultivo da Castanha do Brasil. **Folder**. EMBRAPA/CPAFRO, Porto Velho. 2010.

LOPES, J. S. **Ciclagem de nutrientes, características funcionais e crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. cultivadas sob plantio puro cultivadas à calagem**. 2018. p. 63. Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2018.

LOURENTE, E. R. P.; FÁBIO, M. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

LOURENÇO, I. H.; BRITO FILHO, E. G.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; BRITO, W. B. M.; CUNHA, J. Avaliação da erodibilidade do solo em áreas de terra preta arqueológica com pastagem e floresta nativa no sul do Amazonas. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 1, p. 90-98.

LUIZÃO, F. J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian forest. **GeoJournal**, v. 19, p. 407-417, 1989.

MACEDO, R. S. et al. Determinação do fator erodibilidade de diferentes classes de solo do estado do Amazonas (métodos indiretos) e de um CambissoloHáplico (método direto) na Província Petrolífera de Urucu, Coari - AM. **In: REUNIÃO CIENTIFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA**, 3., 2010, Manaus.Anais... Manaus:2010.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 2007. 121p. Tese de Livre-Docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal. 2007.

MARTINS, L.; SILVA, Z. P. G.; SILVEIRA, B. C. Produção e comercialização da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) no Estado do Acre-Brasil, 1998-2006. **In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL**, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: UFAC, 2008.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 322-327, 2011.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2003.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.294–305, 2006.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P. Análise multivariada e variabilidade espacial na Estimativa da erodibilidade de um argissolo Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 35, p. 2175-2182, 2011.

MÜLLER, C. H.; FIGUEIREDO, F. J. C.; KATO, A. K.; CARVALHO, J. E. U.; STAIN, R. L. D.; SILVA, A. B. **A cultura da Castanha do Brasil na Amazônia**. Coleção plantar, EMBRAPA/CNPAO, Belém. 1995.

OLIVEIRA, D. M. D. **Efeito do biocarvão e adubação fosfatada no desenvolvimento de castanheira do brasil em latossolo amarelo da Amazônia central**. 2017, 103 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2017.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. 2003, 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourado, MG, 2003.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. D. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais, **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 687–695, 2006.

RODRIGUES, M. R. L. **Disponibilidade de micronutrientes em solos da Amazônia**. 1998, 156 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.

SALDANHA, C. S.; RODRIGUES, T. T.; WERLANG, M.; PONTES, R.; RAMIRES, L. Educação em solos: uma experiência pedagógica com ênfase na erosão hídrica do solo. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - I Congresso Nacional de Geografia Física**, p. 3356 -3363. Campinas, SP, 2017.

SBF - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo: dados de 2007- 2012**. – Brasília: SFB, 2013. 188 p.

SCHAEFER C.E.G.R., LIMA H.N., TEIXEIRA W.G., VALE JUNIOR J.F., SOUZA K.W.; CORREIA G.R., MENDONCA, B.A.F., AMARAL E.F., CAMPOS M.C.C., RUIVO

M.L.P. **Solos da Região Amazônica**. In: CURI N., KER J.C., NOVAIS R.F., VIDAL-TORRADO P., SCHAEFER C. E. G. R.. (Org.). *Pedologia: Solos dos Biomas Brasileiros*. 1ed.Viçosa: SBCS, p. 110-115. 2017.

SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. N. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 6, n. 3, p. 273-293, 2011.

SHAPIRO S.S., WILK M.B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, v.52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P. M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 32:2125-2134, 2008.

SILVA, C. L. **Análise da tectônica cenozoica da região de Manaus e adjacências**. 2005. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Geociências – Área de concentração em Geologia Regional; Rio Claro – SP, 2005.

SILVA, L. F. S.; MARINHO, M. A.; ROCCO, E. O.; WALTER, M. K. C.; BOSCHIS, R. S. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, Vol. 3, No. 1, 51-58, 2016.

SILVA, L. I. D.; CAMPOS, M. C. C.; BRITO, W. B. M.; CUNHA, J. M. D.; LIMA, A. F. L. D.; SANTOS, L. A. C. D.; HASSANE, A. L. Spatial variability of soil erodibility in pastures and forest areas in the municipality of Porto Velho, Rondônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, 2022.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic rhodic hapludox under coffee cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 467-474, 2012.

SILVEIRA JUNIOR, O.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; ROCHA, J. M. L.; ALEXANDRINO, E. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas sob diferentes usos agrícolas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 5, p. 442-455, 2014.

SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. C.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, I. A.; BRITO FILHO, E. G.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2. p. 125-133, 2018.

SOUZA, C.K., MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, F. G.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, E. S.; LIMA, A. F. L.; PINHEIRO, E. N.; CUNHA, J. M., OLIVEIRA, F. P. Impacts of native forest conversion on soil

erodibility in areas of Amazonic species cultivation. **Applied ecology and environmental research**, v. 21, n. 1, p. 21-39, 2022.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. D. S. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, v.11, p.73-81, 2010.

SOUZA, Z. M. D.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

SOUZA, Z. M. D.; SOUZA, G. S. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.2, p.261-268, fev, 2014.

SPERA, S. T; BALDONI, A.B.; MAGALHÃES, C. A. S.; Alves ANTÔNIO, D. B.; TONINI, H. **Adubação da castanheira-do-brasil - Estado da arte**. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018 (Embrapa Agrossilvipastoril. Circular técnica, 5). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1100527>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

SPIAZZI, F. R. **Análise geoestatística de atributos químicos e físicos do solo em áreas construídas após mineração de carvão no município de Lauro Muller, SC**. 2011. 98p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; & TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3ª ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

TEIXEIRA, W. G.; PEREIRA, E. G.; CRUZ, L. A.; BUENO, N. Influência do uso nas características físicoquímicas de um Latossolo Amarelo, textura muito argilosa, Manaus, AM. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12, 1996, Águas de Lindóia. Anais... Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Latino-Americana de Ciência do Solo, 1996.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. de. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima - andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) **Acta Amazonica**, vol.35, no.3, p.353-362. 2005.

TÔSTO, S. G.; PEREIRA, L. C. Zoneamento da erosão do solo como instrumento de planejamento ambiental. **Anais do Simpósio Usos, Manejo e Gestão dos Recursos Naturais, na Conferência da Terra - Fórum Internacional do Meio Ambiente**, p. 1–11, 2012.

VALE-JÚNIOR, J. F.; BARROS, L. S.; SOUSA, M. I.; UCHÔA, S. K. P. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia mangium* em Roraima. **Revista agroambiente On-line**, v. 3, n. 1, p. 1-8, jan-jul, 2009.

VALE-JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: Etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agroambiente On-line**, v.5, p.158-165, 2011.

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Instituto de Geociência/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS: 2016. [50 f.]

VIEL, J. A.; ROSA, K. K. DA; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de sig na região da denominação de origem Vale Dos Vinhedos (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, 2017.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS B.V. Soil erodibility monograph for farmland and construction sites. **J Soil Water Conserv**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

YEOMANS, 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