

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
CURSO DE AGRONOMIA**

ESTEFANI DE SOUZA OLIVEIRA

**ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO
ASSENTAMENTO SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE CANUTAMA-AM**

**HUMAITÁ - AM
2023**

ESTEFANI DE SOUZA OLIVEIRA

**ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO
ASSENTAMENTO SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE CANUTAMA-AM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de agronomia da Universidade Federal do
Amazonas (UFAM), como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Vairton Radman

Coorientador: Prof. Dr. José Maurício da Cunha

HUMAITÁ - AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48e Oliveira, Estefani de Souza
Erodibilidade do solo em áreas sob diferentes usos no assentamento são francisco na região de canutama-am / Estefani de Souza Oliveira . 2023
40 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Vairton Radmann
Coorientador: José Maurício da Cunha
TCC de Graduação (Agronomia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Solos Amazônicos. 2. Uso e Manejo. 3. Perda de Solo. 4. Erosão . I. Radmann, Vairton. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

HUMAITÁ - AM

2023

ESTEFANI DE SOUZA OLIVEIRA

**ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO
ASSENTAMENTO SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE CANUTAMA-AM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal do
Amazonas (UFAM) como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 10/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente




VAIRTON RADMANN

Data: 17/07/2023 11:35:29-0300

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

Prof. Dr. Vairton Radmann - UFAM

Orientador


UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Inst. de Educação, Agricultura e
Ambiente - IEAA/UFAM

Prof. Dr. José Maurício da Cunha - UFAM

SIAPE: 2739499

Coorientador

Documento assinado digitalmente



RENATO FRANCISCO DA SILVA SOUZA

Data: 17/07/2023 17:37:14-0300

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

Prof. Dr. Renato Francisco da Silva Souza - UFAM

Avaliador 1

Documento assinado digitalmente



RENILDO MELO FREITAS

Data: 17/07/2023 15:05:10-0300

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

Eng. Agro. Renildo Melo de Freitas - UFAM

Avaliador 2

Dedico aos meus pais, José Joaquim de Oliveira e Lucinda Ramos de Souza (*in memoria*) pelo amor, educação, dedicação, compreensão, apoio, incentivo e por todo amparo em minha vida pessoal e acadêmica. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre abençoar e guiar os meus passos em toda minha vida e jornada acadêmica.

À Universidade Federal do Amazonas, em especial, ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA/UFAM), instituição que me acolheu enquanto estudante nesse processo de formação, bem como, seus funcionários, administrativos e terceirizados, ambos diretamente e indiretamente contribuem promovendo um bom ambiente de estudo para todos.

Aos meus queridos pais, José Joaquim de Oliveira e Lucinda Ramos de Souza (*in memória*), por serem meu alicerce e porto seguro.

Aos meus irmãos Rafael Pereira, José Joaquim Filho, Eidi Oliveira, Maria das Dores, em especial a minha irmã Estela de Souza Oliveira, por todo apoio durante esses anos de faculdade. Obrigado!

Ao meu Namorado Silas Lagos Nascimento, pela calma, compreensão e paciência durante essa reta final da faculdade. Obrigada por tudo meu amor!

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Vairton Radman, Prof. Dr. Milton César Costa Campos e Prof. Dr. José Maurício da Cunha pela paciência e ensinamentos nesses anos de pesquisa.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial ao meu amigo Antônio Vieira Castro que foi um irmão para mim e por toda amizade no decorrer do curso de graduação, nos quais houve momentos de alegrias, tristezas, brigas, diversão e discussões, tais momentos foram essenciais para meu crescimento acadêmico, nesses anos de faculdade pelos ensinamentos, dicas nas apresentações e por me tranquilizar nos momentos de nervosismo, desejo sucesso a todos.

À toda equipe do Grupo de Pesquisa do Laboratório de solos e nutrição de Plantas, em especial, Alan Ferreira Leite, Anderson Vieira, Elilson Gomes de Brito Filho, Elyenayra Nogueira Pinheiro e Fernando Gomes de Souza.

A todos os professores que passaram durante esses cinco anos de graduação, em especial ao Prof. Milton César Costa Campos, Prof. Perla Joana Souza Gondim, além de muito competentes, são uns grandes queridos, meu sincero muito obrigada.

Enfim, a todos que de maneira direta ou indiretamente participaram e contribuíram para a conclusão dessa etapa na minha vida. Nada seria possível sem vocês, muito obrigada!

“Feliz aquele que transfere o que sabe e
aprende o que ensina”.

Cora Carolina

RESUMO

A erodibilidade é a propriedade do solo que representa à maior ou menor susceptibilidade com que suas partículas da camada mais superficial são desprendidas e transportadas para locais mais baixos por agentes erosivos, podendo causar problemas ambientais e econômicos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da erodibilidade dos solos em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco em Canutama, AM. As coletas foram realizadas em áreas de floresta, e em cultivos de Guaraná (*Paullinia cupana*), Urucum (*Bixa orellana*) e Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). Para cada área, foi estabelecida malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular de 10 x 10 m entre os pontos amostrais, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. Perfazendo um total de 80 amostras em cada área, totalizando 320 amostras nas quatro áreas avaliadas, sendo cada ponto georreferenciado com GPF. Em seguida foram coletadas amostras com estrutura preservada, na camada de 0,00-0,20 m, para a determinação das propriedades físicas e para realização de matéria orgânica. Finalizada esta etapa, foram utilizados modelos indiretos de predição de perdas do solo, onde foram estimados os fatores de erodibilidade (K, Ki, Kr e Tc), e por fim foram realizadas análises estatísticas descritivas e geoestatística para modelagem da variabilidade espacial dos atributos estudados. Os atributos avaliados apresentaram dependência espacial, variando entre forte e moderada, estando estes adequados ao modelo esférico, caracterizados como o que melhor se adapta aos atributos do solo e explicaram a variabilidade espacial destas variáveis. Para aplicação do modelo WEPP, de predição de erosão, o valor do fator de erodibilidade das áreas de estudo as áreas que apresentaram menor (Ki) foram guaraná e urucum com $4,70 \times 10^{-2} \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$.

Palavras-chave: Solos Amazônicos; Uso e Manejo; Perda de Solo, Erosão.

ABSTRACT

Erodibility is the soil property that represents the greater or lesser susceptibility with which its particles from the most superficial layer are detached and transported to lower locations by erosive agents, which can cause environmental and economic problems. This study aimed to evaluate the spatial variability of soil erodibility in areas under different uses in the São Francisco settlement in Canutama, AM. The collections were carried out in forest areas, and in Guaraná (*Paullinia cupana*), Urucum (*Bixa orellana*) and Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) crops. For each area, grids were established according to the dimensions of the crop. In the guarana and forest areas, 90 x 70 m meshes were established with regular spacing of 10 x 10 m between sampling points, in the annatto area the established mesh was 90 x 56 m with spacing between sampling points of 10 x 8 m, for the cupuaçu area, the mesh had dimensions of 54 x 42 m, with regular spacing between sampling points of 6 x 6 m. Making a total of 80 samples in each area, totaling 320 samples in the four evaluated areas, each point being georeferenced with GPF. Then, samples with preserved structure were collected, in the 0.00-0.20 m layer, for the determination of physical properties and for the realization of organic matter. At the end of this step, indirect models for predicting soil loss were used, where the erodibility factors (K, Ki, Kr and Tc) were estimated, and finally descriptive statistical and geostatistical analyzes were performed to model the spatial variability of the attributes studied. The evaluated attributes showed spatial dependence, varying between strong and moderate, being these adequate to the spherical model, characterized as the one that best adapts to the soil attributes and explained the spatial variability of these variables. For the application of the WEPP erosion prediction model, the value of the erodibility factor of the study areas the areas that presented the lowest (Ki) were guarana and annatto with $4.70 \times 10^{-2} \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$.

Keywords: Amazonian soils; Use and Management; Soil Loss, Erosion.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	SOLOS AMAZÔNICOS.....	12
2.2	IMPACTO DO USO E MANEJO NO SOLO	13
2.3	ERODIBILIDADE DO SOLO	15
2.4	CONSEQUÊNCIAS DA EROÇÃO DO SOLO	15
2.5	FATOR DE DESAGREGAÇÃO DO SOLO	16
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO	18
3.2	METODOLOGIA DE CAMPO E LABORATÓRIO	19
3.3	ANÁLISES FÍSICAS	19
3.4	ANÁLISES QUÍMICAS.....	20
3.5	CÁLCULOS DOS FATORES DE ERODIBILIDADE (K, KI E KR) E TENSSÃO DE CISALHANTE CRÍTICA (TC)	20
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

A erodibilidade (fator K) é uma das variáveis da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) que expressa, quantitativamente, a suscetibilidade do solo à erosão hídrica. Apesar de suas restrições, é considerada o mais eficiente modelo de estimativa de perdas de solo, sendo amplamente utilizada, principalmente nos EUA ((WISCHMEIER, 1976); RENARD et al., 1994). De acordo com Knapen et al. (2007) os principais índices que caracterizam a resistência do solo à erosão são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento.

A erodibilidade pode ser definida como a propriedade do solo que expressa a maior ou menor facilidade com que suas partículas são desprendidas por um agente erosivo (BASTOS, 1999) e a tensão crítica de cisalhamento é definida como a força hidráulica requerida para iniciar o desprendimento das partículas de solo (ENRIQUEZ et al., 2015).

A ocupação de forma desordenada da terra tem sido um problema de difícil solução e tem provocado diversos problemas ambientais, tais como a compactação do solo, que diminui a quantidade de água pluvial infiltrada, aumentando assim o escoamento superficial. Isto tudo ocasiona a perda da fertilidade natural do solo, a queda da produtividade agrícola e, diminuição do volume e qualidade das águas, devido, principalmente, ao assoreamento (GUERRA et al., 2005; CAMAPUN de CARVALHO et al., 2006).

Como parte do planejamento e controle da erosão, identificar as áreas críticas ajudará a se planejar um manejo adequado do uso do solo tendo em vista o mesmo afetar diretamente as propriedades físicas. Para esta finalidade, é imprescindível a utilização da Equação Universal de Perda de Solos - EUPS (Wischmeier & Smith, 1978). A equação permite avaliar qualitativamente as áreas de diferentes graus de susceptibilidade à erosão, servindo para categorizar qualitativamente as áreas susceptíveis à erosão (FARINASSO et al., 2006).

Em um cenário mais amplo, estudos tem relatado que as variabilidades das propriedades físicas do solo apresentam correlação ou dependência espacial (EGUCHI et al., 2002; CARVALHO et al., 2003; SOUZA et al., 2004; LIMA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007). Nesses casos, o uso da geoestatística permite que a estrutura de dependência espacial seja modelada e visualizada espacialmente, e assim indicar

alternativas de manejo adequadas considerando a variabilidade das suas características físico-hídricas e químicas do solo sobre o desenvolvimento das plantas (EGUCHI et al.). Desse modo, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da erodibilidade em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco na região de Canutama-AM.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOLOS AMAZÔNICOS

Os solos amazônicos referem-se aos solos encontrados na região amazônica, a maior floresta tropical do mundo, localizada principalmente na América do Sul (MELO et al., 2014). Esses solos são extremamente diversos e variam amplamente em termos de composição, fertilidade e características físicas (CAMPOS et al., 2012).

De modo geral, os solos amazônicos podem ser classificados em três grandes categorias: solos de várzea, solos de terra firme e solos de igapó. Cada uma dessas categorias possui características distintas devido às diferentes condições ambientais e processos de formação (COSTA et al., 2014).

Os solos de várzea são encontrados nas áreas inundáveis ao longo dos rios amazônicos. Eles são geralmente ricos em matéria orgânica, o que os torna bastante férteis. Devido às cheias sazonais, esses solos são constantemente renovados com sedimentos trazidos pelas águas dos rios, o que contribui para sua alta fertilidade (ALMEIDA et al., 2004).

Os solos de terra firme são predominantes na maior parte da região amazônica, especialmente nas áreas não sujeitas a inundações regulares (HIGUCHI et al., 1998). Eles são geralmente mais pobres em matéria orgânica do que os solos de várzea, mas sua fertilidade pode variar significativamente dependendo de fatores como a idade do solo, a presença de minerais e a vegetação circundante (FERREIRA et al., 2006). Alguns solos de terra firme são bastante ácidos devido à lixiviação intensa causada pelas chuvas tropicais (LEOPOLDO et al., 1978).

Os solos de igapó são encontrados nas áreas sujeitas a inundações prolongadas, onde a água permanece estagnada por períodos prolongados de tempo. Esses solos são geralmente pobres em nutrientes e possuem altos níveis de matéria orgânica mal decomposta, resultando em baixa fertilidade natural. No entanto, quando drenados e manejados adequadamente, esses solos podem ser utilizados para agricultura (CLARO JÚNIOR et al., 2004).

É importante ressaltar que a região amazônica abriga uma grande diversidade de solos dentro dessas categorias gerais. Os tipos de solos, suas propriedades e sua aptidão agrícola podem variar amplamente em escala local (COUCEIRA e SANTANA,

1999). Além disso, o desmatamento e as práticas agrícolas inadequadas podem afetar negativamente a qualidade dos solos, resultando em erosão, degradação e perda de fertilidade (PASSOS et al., 2008).

2.2 IMPACTO DO USO E MANEJO NO SOLO

O uso e manejo adequados do solo são fundamentais para garantir a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar, no entanto, práticas inadequadas podem levar a sérios impactos negativos no solo, comprometendo sua qualidade, fertilidade e capacidade de suportar a produção agrícola (CARNEIRO et al., 2009). Neste texto, discutiremos os principais impactos do uso e manejo inadequados do solo e a importância de adotar práticas sustentáveis para preservar esse recurso vital (STEFANOSKI et al., 2013).

Um dos impactos mais significativos do uso e manejo inadequados do solo é a erosão. Quando a vegetação natural, como florestas, é removida para dar lugar à agricultura ou pecuária, o solo fica exposto à ação do vento e da água. Isso aumenta a taxa de erosão, levando à perda das camadas superficiais férteis do solo. A erosão reduz a capacidade do solo de reter água e nutrientes, comprometendo a produtividade das culturas e levando à degradação do ecossistema.

Outro impacto negativo é a compactação do solo, o tráfego intenso de máquinas agrícolas e animais em áreas cultivadas pode resultar em compactação, tornando o solo mais denso e reduzindo sua porosidade. Isso prejudica a infiltração de água, dificulta o desenvolvimento das raízes das plantas e afeta a disponibilidade de nutrientes essenciais (OLIVEIRA et al., 2012). A compactação do solo também contribui para o aumento da erosão e a perda da estrutura do solo, dificultando o seu manejo e limitando a produtividade agrícola (KLEIN e LIBARDI, 2012).

Além disso, o uso inadequado de práticas agrícolas intensivas pode levar à perda de matéria orgânica no solo. O uso excessivo de fertilizantes químicos e pesticidas, a queima da vegetação natural e a remoção de resíduos culturais reduzem a quantidade de matéria orgânica no solo (FREITAS et al., 2012). A perda de matéria orgânica compromete a capacidade do solo de reter água, nutrientes e carbono, resultando em uma diminuição da fertilidade e na deterioração da estrutura do solo (FREITAS et al., 2000). A falta de matéria orgânica também reduz a atividade biológica

do solo, afetando negativamente a ciclagem de nutrientes e a saúde do ecossistema (ARATANI et al., 2009).

A degradação da qualidade do solo é outro impacto preocupante do uso e manejo inadequados. O uso indiscriminado de agroquímicos pode levar à acidificação do solo, comprometendo seu pH e afetando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (ALENCAR et al., 2009). Além disso, a aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados pode resultar em lixiviação, ou seja, a perda de nutrientes para os cursos d'água, causando poluição e impactos negativos nos ecossistemas aquáticos (FREITAS et al., 2012). A salinização é outro problema associado ao manejo inadequado do solo, ocorrendo quando há acúmulo de sais nas camadas superficiais do solo, tornando-o inadequado para a agricultura (DIAS et al., 2005).

A desertificação é um dos impactos mais graves do uso e manejo inadequados do solo, especialmente em regiões áridas e semiáridas (SAMPAIO et al., 2008). O desmatamento, a degradação do solo e as práticas agrícolas inadequadas contribuem para a perda de vegetação e para a degradação do ecossistema, resultando em uma paisagem desértica (TAVARES et al., 2019). A desertificação tem sérias consequências para a biodiversidade, a economia e o bem-estar humano, levando à perda de terras produtivas e ao aumento da pobreza (FRANÇA et al., 2017).

Diante desses impactos, é fundamental adotar práticas de uso e manejo sustentáveis do solo. A agricultura de conservação, por exemplo, visa reduzir a erosão e melhorar a saúde do solo por meio da utilização de técnicas como o plantio direto, a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas e doenças (CASTRO et al., 2013). Essas práticas promovem a cobertura vegetal do solo, reduzem o uso de agroquímicos e incentivam a biodiversidade do solo, resultando em maior produtividade e sustentabilidade a longo prazo (CÂMARA et al., 2005).

A implementação de sistemas agroflorestais também desempenha um papel importante na preservação do solo. Esses sistemas combinam árvores, culturas agrícolas e/ou animais em uma mesma área, promovendo a diversidade e aumentando a resiliência do ecossistema. As árvores ajudam a proteger o solo contra a erosão, melhoram sua estrutura, fornecem sombra e contribuem para o enriquecimento da matéria orgânica.

Além disso, é essencial promover a educação e conscientização dos agricultores e da sociedade em geral sobre a importância do uso sustentável do solo. O manejo adequado do solo envolve a implementação de práticas como a adubação

equilibrada, a rotação de culturas, a preservação das áreas de vegetação nativa e a redução do uso de agroquímicos (SERAFIM et al., 2013). Essas práticas contribuem para a manutenção da fertilidade do solo, a conservação da biodiversidade e a proteção dos recursos hídricos (BASEN et al., 2018).

2.3 ERODIBILIDADE DO SOLO

De acordo com (MANNIGEL et al., 2002), o mesmo cita que a erodibilidade é uma propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade à erosão, enquanto que o fator erodibilidade do solo é representado pela relação entre a perda de solo e a erosividade da chuva, quando tais dados são obtidos individualmente para cada chuva.

Por outro lado, tolerância de perda representa a quantidade de solo que pode ser perdida pela erosão acelerada, expressa em unidade de massa por unidade de área no tempo, que mantém os seus níveis iniciais de fertilidade e com a equivalente produtividade, por longo período de tempo (WISCHMEIER e SMITH, 1965).

A erodibilidade expressa a suscetibilidade do solo ao processo erosivo. A diferença na erodibilidade de solos distintos ocorre por causa das condições intrínsecas desses solos, dadas pelas características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas (FOSTER, 1982). A erodibilidade em entressulcos (K_i) é uma medida da suscetibilidade do solo à desagregação pelo impacto das gotas de chuva (ALBERTS et al., 1995).

2.4 CONSEQUÊNCIAS DA EROSÃO DO SOLO

A erosão hídrica pode levar os solos agrícolas a perderem sua capacidade produtiva, com conseqüente aumento de custos com saúde e alimentação, além da poluição e assoreamento dos cursos d'água. A erosão em entressulcos é causada, principalmente, pela desagregação das partículas do solo, decorrente do impacto da gota da chuva e transporte pelo escoamento superficial laminar (NUNES & CASSOL, 2008). A erosão em sulcos é devida à desagregação, transporte e deposição das partículas do solo pelo fluxo concentrado (ALBERTS et al., 1995).

A erosão hídrica é o resultado da ação da chuva e escoamento superficial sobre o solo, caracterizada pelas fases de desagregação, transporte e deposição. A desagregação e o transporte são principalmente provocados pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial, respectivamente, sobre a superfície do solo (HUDSON, 1981).

A erosão acentuada do solo consiste em um dos principais problemas ambientais causados pela atividade agrícola. Em regiões tropicais a erosão hídrica tem grande importância, contribuindo para a degradação dos solos, ocasionando a perda de sua camada mais fértil (BERTONI & LOMBARDI NETO 1975), transportando partículas através das encostas até os cursos d'água e causando assoreamento dos mesmos.

A erosão acelerada dos solos é um problema global e, apesar da dificuldade de se calcular com precisão as perdas de solo, sabe-se que a magnitude destas perdas tem causado sérias consequências econômicas e ambientais (LAL, 1988). A determinação do risco de erosão e a previsão da perda de solo são subsídios importantes para o planejamento agrícola e ambiental de uma região (LIMA et al., 1992).

2.5 FATOR DE DESAGREGAÇÃO DO SOLO

O conhecimento da capacidade resistiva do solo ao escoamento superficial e as características deste escoamento são fundamentais para o correto dimensionamento do sistema de drenagem e do estabelecimento de medidas para o controle da erosão (BASTOS, 1999).

Quanto ao escoamento, o principal fator está relacionado à tensão cisalhante provocada por este e, quanto à resistência do solo, os fatores de maior importância são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento. A tensão crítica de cisalhamento dos solos, conforme (BASTOS, 1999), pode ser entendida como a máxima tensão que pode ser aplicada ao solo sem que haja desprendimento de suas partículas, estando esta associada diretamente ao escoamento da água.

Apesar da existência de diversos testes que possam fornecer a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento do solo, o desenvolvimento de métodos diretos que reduzam a influência da técnica aplicada sobre o solo a ser testado e forneçam

resultados confiáveis, é de suma importância para o dimensionamento de sistemas para controle da erosão (BASTOS, 1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil, em quatro áreas, sendo três áreas sob diferentes usos com cultivo de Guaraná (*Paullinia cupana*), Urucum (*Bixa orellana*) e Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e mais área de floresta (Figura 1). Para cada área, foi estabelecida malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular de 10 x 10 m entre os pontos amostrais, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. Os solos foram coletados nos pontos de cruzamento das malhas, sob a profundidade de 0,00-0,20 m, perfazendo um total de 80 amostras em cada área, totalizando 320 amostras nas quatro áreas avaliadas. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).

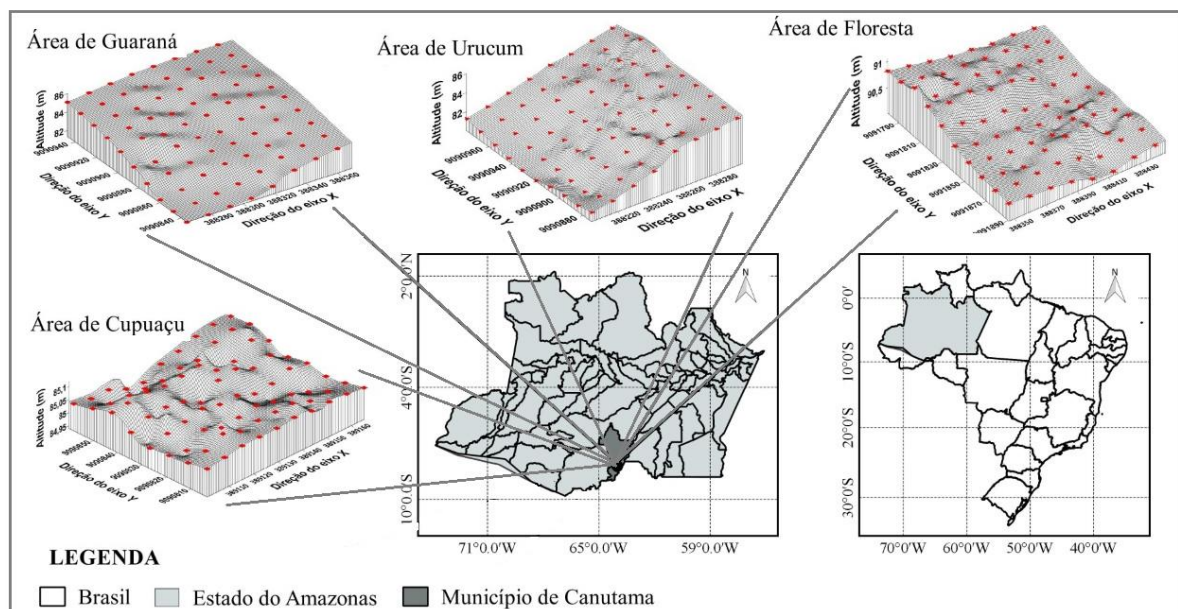


Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudos dentro do município de Canutama- AM.

3.2 METODOLOGIA DE CAMPO E LABORATÓRIO

Foram coletadas, nos pontos de cruzamento da malha, amostras com estrutura preservada na camada de 0,00-0,20 m, para a determinação das propriedades físicas estruturais, textura e do carbono orgânico. Na forma de torrão, para determinação da estabilidade dos agregados do solo. As amostras foram secas à sombra e levemente destorroadas, de forma manual, passando as mesmas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha e retidas na peneira de 4,76 mm de diâmetro. As amostras retidas na peneira de 2,00 mm foram utilizadas para análises granulométricas e químicas.

3.3 ANÁLISES FÍSICAS

O método empregado para a separação e estabilidade dos agregados foi determinado segundo KEMPER & CHEPIL (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm. Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (SOLOTEST, Bela Vista, São Paulo, Brasil) por 15 min e com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C, e em seguida mensurada as respectivas massas em uma balança digital.

Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras e a estabilidade dos agregados avaliados pelo diâmetro médio ponderado (DMP), obtido pela fórmula proposta por CASTRO FILHO et al. (1998), e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo SCHALLER & STOCKINGER (1953), citados por ALVARENGA et al. (1986), de acordo com as equações 1 e 2:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

$$DMG = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i}} \quad (2)$$

Em que n_i é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira, D_i é o diâmetro médio de uma determinada peneira e N é o número de classes de peneiras.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado pela diferença. Para fins de fracionamento da areia, para obtenção das classes de tamanho das partículas em areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, foram utilizadas peneiras comuns com malhas de 1mm, 0,500mm, 0,250mm, 0,125mm e 0,053mm, que foram agitadas durante 3 minutos utilizando-se de um Agitador de Peneiras, modelo SOLOTEST com reostato digital marcador de tempo e frequência.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS

Na parte química as amostras de solo das áreas em estudo, depois de secadas ao ar (TFSA) e passadas em peneira com malha de 2,00 mm de abertura, foram submetidas a caracterização química, analisando-se o carbono orgânico (CO) a qual foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por YEOMANS & BREMNER (1988). Já a matéria orgânica foi determinada pelo produto do CO com 1,724 (EMBRAPA, 2011). A M.O. foi estimada pela equação 3:

$$M.O = C.O \times 1,724 \quad (3)$$

3.5 CÁLCULOS DOS FATORES DE ERODIBILIDADE (K, KI E KR) E TENSÃO DE CISALHANTE CRÍTICA (TC)

Para determinação das perdas de solo, foi utilizado modelos indiretos de predição, no qual estimaram os valores dos fatores erodibilidade através de equações que envolvem os valores dos atributos do solo analisados em laboratório. Assim, no

presente trabalho foram utilizados os modelos USLE e WEPP para determinação dos fatores condicionantes da erosão nas áreas em estudos.

Para o cálculo da erodibilidade global do solo da USLE (fator K, $t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$) foi utilizada a equação proposta por DENARDIN (1990) (Eq. 4):

$$K = 0,00000748 M + 0,00448059 p - 0,0631175 DMP + 0,01039567 X32 \quad 4)$$

Em que,

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

P = permeabilidade codificada segundo WISCHMEIER et al. (1971);

DMP = diâmetro médio ponderado das partículas do solo inferiores a 2,00 mm;

X32 = nova areia (MO/100);

Novo silte = silte + areia muito fina, %;

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

Para o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo WEPP (K_i , $kg\ s\ m^{-4}$) foram utilizadas as equações propostas por FLANAGAN E LIVINGSTON (1995) (Eq. 5 e 6):

$$K_{iWEPP} = 2728000 + 192100 AMF, \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (5)$$

$$K_{iWEPP} = 6054000 + 55130 ARG, \quad \text{areia} < 30\% \quad (6)$$

Em que:

AMF = percentual de areia muito fina, %;

ARG = percentual de argila, %.

Para calcular a erodibilidade em sulcos (K_r , $s\ m^{-1}$) do modelo WEPP foram utilizadas as equações propostas por FLANAGAN E LIVINGSTON (1995) (Eq. 7, 8, 9 e 10):

$$K_{rWEPP} = 0,00197 + 0,00030 \text{ AMF} + 0,03863 e^{-1,84 \text{ MO}} \quad \text{areia} \geq : \quad (7)$$

$$T_{cWEPP} = 2,67 + 0,065 \text{ ARG} - 0,058 \text{ AMF} \quad \text{areia} \geq \quad (8)$$

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

$$T_{cWEPP} = 3,5 \quad \text{areia} < \quad (10)$$

Em que,

AMF = percentual de areia muito fina, %;

E = base dos logaritmos neperianos;

MO = percentual de matéria orgânica do solo, %;

ARG = percentual de argila, %;

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Após a determinação dos atributos físicos, erodibilidade e carbono orgânico os dados foram submetidos à análise de variância, e as comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado e analisadas pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando o Programa computacional Statistica 7 (STATSOFT, 2004), na estatística dos dados foram calculados os valores de média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose, mínimo e máximo das variáveis determinadas em laboratório. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software Statistic 7 (STATSOFT, 2014).

A análise geoestatística foi feita com base no semivariograma experimental, estimado pela equação 11:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (11)$$

Sendo, $\hat{\gamma}(h)$ 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 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 $\left[\frac{C_0}{C_0+C_1}\right]$ for menor ou igual a 25%. Se essa razão estiver entre 26 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.

O semivariograma pode apresentar um padrão de comportamento que pode ser descrito por modelos teóricos. A escolha para o modelo teórico do semivariograma foi realizada em menor erro residual (SQR), maior coeficiente de determinação (R^2) e de máximo coeficiente de correlação (r) da validação cruzada. Os modelos utilizados nos ajustes do semivariograma foram o esférico (Eq. 12) e o exponencial (Eq. 13):

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ se } 0 < h < a$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1, \text{ se } h \geq a$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right], 0 < h < d$$

em que:

- Os valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma;
- C_0 é o efeito pepita;
- $C_0 + C_1$ é o patamar;
- $[(C_0 / (C_0 + C_1)) \times 100]$ é o grau de dependência espacial (GDE);
- a representa a distância com que os atributos estão correlacionados, de acordo com uma área com um raio uniforme estimado; e
- d é a máxima distância em que o semivariograma foi definido.

O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas. Os modelos do semivariograma para os atributos que foram estudados, foram estimados pelo programa computacional GS+ (GAMMA DESIGN, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, irá se considerar o melhor R^2 (coeficiente de determinação).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados analisados aos testes de médias e estatísticas descritivas são apresentados na tabela 1. Observa-se que os valores de média e mediana de todas as variáveis estudadas são próximas, evidenciando uma distribuição normal, confirmados pelo teste de assimetria e curtose próximo de zero. Resultados similares foram encontrados por Oliveira et al. (2013), em estudo realizados em um Cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas.

Tabela 1 - Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,00-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Estatística descritiva	MO	Areia	Silte	Argila	K	Ki	Kr	Tc
	----- g Kg ⁻¹ -----			t ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹ ha h		kg s m ⁻⁴	s m ⁻¹	N m ⁻²
Guaraná								
Mínimo	12,77	307,53	378,60	120,00	4,30 x10 ⁻²	5,52 x10 ⁷	6,98 x10 ⁻³	2,36
Máximo	29,10	462,93	467,20	282,67	5,29 x10 ⁻²	7,10 x10 ⁷	1,03 x10 ⁻²	3,67
Média	21,05 d	372,03 a	413,06 c	214,91 c	4,70 x10 ⁻² b	6,18 x10 ⁷ a	8,31 x10 ⁻³ a	3,03 b
Mediana	21,03	370,07	411,50	215,99	4,69 x10 ⁻²	6,15 x10 ⁷	8,28 x10 ⁻³	3,05
¹ DP	3,18	37,86	20,75	33,63	2,12 x10 ⁻³	2,96 x10 ⁶	6,78 x10 ⁻⁴	0,25
Variância	10,14	1433,60	430,73	1131,19	1,00 x10 ⁻⁵	8,78 x10 ¹¹	0,00	0,06
CV%	15,13	10,17	5,02	15,65	4,51	4,79	8,16	8,15
Assimetria	-0,12	0,36	0,53	-0,49	0,48	0,56	0,68	-0,42
Curtose	0,00	-0,47	-0,36	-0,02	0,08	0,46	0,67	0,44
d	0,06*	0,06*	0,10*	0,09*	0,07*	0,07*	0,10*	0,09*
Urucum								
Mínimo	17,73	303,13	302,93	158,67	4,15 x10 ⁻²	4,27 x10 ⁷	4,65 x10 ⁻³	2,35
Máximo	29,34	481,80	457,67	305,33	5,56 x10 ⁻²	7,40 x10 ⁷	1,00 x10 ⁻²	3,87
Média	23,79 c	381,62 a	387,54 d	230,84 b	4,70 x10 ⁻² b	6,31 x10 ⁷ a	8,16 x10 ⁻³ a	3,08 b

Mediana	23,93	372,03	390,30	233,33	$4,70 \times 10^{-2}$	$6,68 \times 10^7$	$8,60 \times 10^{-3}$	3,11
¹ DP	2,62	44,94	34,40	35,86	$2,93 \times 10^{-3}$	$8,06 \times 10^6$	$1,31 \times 10^{-3}$	0,34
Variância	6,87	2020,05	1183,16	1285,82	$9,00 \times 10^{-6}$	$6,50 \times 10^{11}$	$2,00 \times 10^{-6}$	0,12
CV%	11,01	11,78	8,81	15,53	6,23	12,77	16,11	11,09
Assimetria	-0,19	0,41	-0,19	-0,09	0,51	-0,56	-0,60	-0,15
Curtose	-0,61	-0,74	-0,49	-0,94	0,77	-0,99	-0,70	-0,55
d	0,07*	0,10*	0,05*	0,08*	0,10*	0,19*	0,15*	0,06*
Cupuaçu								
Mínimo	20,87	230,53	373,40	217,20	$4,39 \times 10^{-2}$	$4,22 \times 10^7$	$7,07 \times 10^{-3}$	-
Máximo	45,45	318,87	537,07	333,20	$5,78 \times 10^{-2}$	$4,86 \times 10^7$	$8,64 \times 10^{-3}$	-
Média	31,42 a	275,51 b	452,85 b	271,64 a	$4,98 \times 10^{-2}$ a	$4,59 \times 10^7$ b	$7,63 \times 10^{-3}$ b	3,5 a
Mediana	31,54	277,50	452,63	274,53	$4,97 \times 10^{-2}$	$4,59 \times 10^7$	$7,54 \times 10^{-3}$	-
¹ DP	5,04	20,54	34,25	25,33	$2,91 \times 10^{-3}$	$1,49 \times 10^6$	$3,70 \times 10^{-4}$	-
Variância	25,42	421,84	1173,28	641,49	$8,00 \times 10^{-6}$	$2,21 \times 10^{11}$	0,00	-
CV%	16,05	7,45	7,58	9,32	5,84	3,24	4,85	-
Assimetria	0,26	-0,17	0,27	0,13	0,40	-0,35	0,89	-
Curtose	0,36	-0,55	-0,20	-0,04	0,26	-0,37	0,30	-
d	0,07*	0,06*	0,08*	0,07*	0,07*	0,08*	0,13*	-
Floresta								
Mínimo	18,55	196,87	434,35	212,00	$4,38 \times 10^{-2}$	$4,31 \times 10^7$	$7,14 \times 10^{-3}$	-
Máximo	35,55	284,27	558,07	316,00	$5,73 \times 10^{-2}$	$4,89 \times 10^7$	$7,97 \times 10^{-3}$	-

Média	26,67 b	242,99 c	492,17 a	260,84 a	$4,90 \times 10^{-2}$ a	$4,61 \times 10^7$ b	$7,58 \times 10^{-3}$ b	3,5 a
Mediana	26,67	243,33	490,43	260,00	$4,90 \times 10^{-2}$	$4,62 \times 10^7$	$7,63 \times 10^{-3}$	-
¹ DP	3,40	19,98	26,33	23,04	$2,64 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^6$	$1,99 \times 10^{-4}$	-
Variância	11,58	399,09	693,30	530,79	$7,00 \times 10^{-6}$	$1,61 \times 10^{11}$	0,00	-
CV%	12,76	8,22	5,35	8,83	5,39	2,75	2,63	-
Assimetria	0,38	-0,22	0,10	-0,14	0,40	0,14	-0,07	-
Curtose	0,35	-0,51	-0,41	-0,35	0,96	-0,35	-0,57	-
d	0,07*	0,06*	0,05*	0,06*	0,09*	0,06*	0,10*	-

DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação (%); ³d: teste de normalidade de Kolmogorov–Smirnov; * Significativo a 5% de probabilidade; MO: matéria orgânica; Fator K: erodibilidade global; Ki Wepp: erodibilidade entre sucos; Kr Wepp: erodibilidade em sulcos; (Wepp: projeto de predição da erosão hídrica); Tc: tensão cisalhante. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com classificação proposto por Warrick & Nielsen (1980), para o coeficiente de variação (CV), observou-se que os atributos apresentaram CV oscilando entre baixo $\leq 12\%$ e médio de 12 a 60%, nas áreas estudadas. Os atributos da área de guaraná, areia, silte, K, Ki, Kr e Tc; da área de urucum, MO, areia, silte e K; Tc da área de cupuaçu; e da área de floresta a areia, silte argila, K, Ki, Kr apresentaram baixo CV, indicando baixa variabilidade nas áreas estudadas; os atributos da área de guaraná, MO e argila; da área de urucum argila, Ki e Kr; e MO da área de cupuaçu e floresta, apresentaram CV classificado como médio indicando moderada variabilidade dos atributos estudados.

Os resultados referentes ao teste de Kolmogorov-Smirnov, indicaram normalidade para todos os atributos estudados. Apesar de a normalidade dos dados não ser exigência da geoestatística, essa permite observar maior precisão das estimativas da krigagem, as quais são com base nos valores médios. De acordo com Isaaks & Srivastava (1989) e Oliveira et al. (2013), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística.

A MO apresentou diferença significativa entre todas as áreas estudadas, sendo evidenciado os maiores valores para a áreas de Cupuaçu ($31,42 \text{ g kg}^{-1}$) em relação as outras áreas. Um fator que pode ter contribuído para o alto teor de matéria orgânica na área de cupuaçu pode ser atribuído ao tipo de manejo usado na área, pois como observado ocorre a aplicação de herbicidas que pode acelerar o processo de decomposição e não ocorre a retirada do material vegetal. Outro fator que contribui para as outras áreas apresentarem menores valores de matéria orgânica, pode estar atribuída a declividade do terreno onde as áreas de urucum e guaraná possuem declividade de 3%.

Observa-se que houve predominância da fração silte em todas as áreas estudadas. De acordo com Oliveira et al., (2016), a predominância da fração silte pode acarretar problemas no uso e manejo do solo aumentando o escoamento superficial e dificultando a infiltração de água no solo, Korf et al., (2008), afirma que os baixos valores de argila contribuem para menor capacidade de troca catiônica (CTC). Ao classificar a textura, observa-se que todos os solos avaliados, apresentaram grupamento textural médio. As áreas de guaraná, urucum e floresta apresentaram classes texturas franco-siltosa, já a área de cupuaçu apresentou sua classe textural franco-argilo-siltosa (Tabela 1).

Os valores de K na tabela 1, demonstram que as áreas de guaraná e urucum apresentam maiores valores de erodibilidade global quando comparados com as demais áreas, esta erodibilidade alta pode ser relacionada com a declividade da área, este fator também pode estar relacionado com os valores de areia destas áreas que foram maiores quando comparados as demais áreas.

A erodibilidade entressulcos (K_i), as áreas de guaraná e urucum apresentaram os maiores valores, segundo Cassol & Lima, (2003), os altos valores em culturas com o impacto direto das gotas de chuva, o que corrobora com este estudo. As áreas de floresta e cupuaçu mostraram valores de K_i menores, este fator pode ser atribuído a cobertura vegetal ser maior nesta área diminuindo o impacto das gotas de chuva.

Os valores da erodibilidade em sulcos (K_r) determinado para este solo foi maior nas áreas de guaraná e urucum, esses valores situam-se dentro do limite de K_r . E os menores valores foram para áreas de cupuaçu e floresta.

A tensão cisalhante (T_c) representa uma média da tensão exercida na superfície do solo. Onde o cálculo dos parâmetros e tensão cisalhante crítica para o solo foram normais, apenas duas áreas se mostraram com anormalidades dos testes. Vários estudos mostram que a degradação do solo não se correlaciona com tensão cisalhante em alguns solos.

Os valores referentes à geoestatística estão apresentados na Tabela 2, onde o ajuste dos semivariogramas pela análise geoestatística evidenciou que as áreas de estudo apresentaram dependência espacial. Não foi possível ajustar o T_c nas áreas de cupuaçu e floresta, devido terem apresentado valor constante de 3,5.

O modelo de semivariograma esférico e exponencial ajustou melhor a todas as variáveis analisadas, que de acordo com carvalho et al. (2008), o modelo matemático esférico ajustado a todos os semivariogramas é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo, por outro lado Mcbratney & Webster (1986), destacam que os modelos de ajustes do semivariogramas para propriedades do solo mais frequentemente encontrado são os modelos esféricos e exponencial.

Tabela 2 - Parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos da erodibilidade em áreas sob diferentes usos na região de Canutama, AM.

Geoestatística							
Camada 0,00 – 0,20 m							
Parâmetros							
Atributos	Modelo	C⁰	C⁰ + C¹	a	R²	VC	GDE
				---m--		-----%-----	
-							
Guaraná							
M.O	Esf.	1,57	1,42x10 ¹	89,9	0,79	0,79	11,10
Areia	Esf.	10	2,51x10 ³	89,5	0,80	0,97	0,40
Silte	Esf.	121	422,9	41,9	0,90	1,00	28,61
Argila	Est.	1,00	1,77x10 ³	89,9	0,86	0,96	0,06
K	Exp.	0,01	0,06	79,5	0,81	0,88	20,10
K_{i wepp}	Esf.	2,11x10 ¹⁰	1,39x10 ¹¹	89,9	0,92	0,98	15,18
K_{r wepp}	Esf.	1,84x10 ⁻¹	0,55	89,9	0,79	0,83	33,27
T_{c wepp}	Esf.	1,00x10 ⁻⁴	1,02x10 ¹	89,9	0,76	0,94	0,10
Urucum							
M.O	Esf.	0,01	6,86	20,7	0,91	0,99	0,15
Areia	Esf.	10	3,10x10 ³	89,8	0,84	0,97	0,32
Silte	Esf.	63	1,81x10 ³	89,4	0,98	1,00	0,49
Argila	Esf.	1,00	1,97x10 ³	89,8	0,92	0,98	0,05
K	Esf.	0,04	0,11	89,8	0,94	0,95	38,3
K_{i wepp}	Esf.	3,43x10 ¹¹	8,08x10 ¹¹	62,6	0,80	0,82	42,5
K_{r wepp}	Esf.	8,76x10 ⁻¹	1,75	60	0,79	0,80	50,0
T_{c wepp}	Esf.	2,00x10 ⁻³	2,36x10 ¹	89,8	0,87	0,81	0,85
Cupuaçu							
M.O	Esf.	0,01	19,9	12,1	0,83	0,88	0,05
Areia	Esf.	10	411	13,7	0,86	0,80	2,43
Silte	Esf.	307	1420	42,2	0,97	0,96	21,61
Argila	Esf.	167	968,03	53,9	0,93	0,90	17,25
K	Esf.	2,5X10 ⁻³	1,07 ⁻¹	13,2	0,91	0,77	2,33
K_{i wepp}	Esf.	6,1X10 ⁹	3,92X10 ⁹	33,2	0,87	0,98	155,45
K_{r wepp}	Esf.	5,7X10 ⁻²	2X10 ⁻¹	53,9	0,88	0,92	28,84

Floresta							
M.O	Exp.	5,68	11,37	75,9	0,82	0,95	49,95
Areia	Esf.	17,0	404,7	33,9	0,89	0,89	4,20
Silte	Esf.	383,0	766,9	61,5	0,95	1,00	49,94
Argila	Esf.	268,6	545,0	57,1	0,96	0,98	49,28
K	Exp.	$5,9 \times 10^{-3}$	$5,21 \times 10^{-2}$	22,5	0,91	0,94	11,15
K_{i wepp}	Esf.	$8,14 \times 10^9$	$1,67 \times 10^{10}$	57,4	0,96	0,98	48,74
K_{r wepp}	Esf.	$6,61 \times 10^{-2}$	$1,52 \times 10^{-1}$	51,1	0,92	0,96	43,42
T_{c wepp}	-	-	-	-	-	-	-

Esf: Esférico; Exp.: Exponencial; ¹C0: efeito pepita; ²C0+C1: patamar; ³a (m): alcance; ⁴R²: coeficiente de determinação; ⁵VC (%): validação cruzada; ⁶GDE (%): Grau de Dependência Espacial.

O alcance é um parâmetro importante na análise geoestatística, pois expressa a dependência espacial ou distância em que uma variável pode apresentar o mesmo efeito. Avaliando os valores de alcance, observou-se que estes variaram entre 12,1 a 89,9m, demonstrando que os modelos ajustados dos semivariogramas individuais é possível observar que os atributos apresentaram variabilidade espacial menor que o estabelecido na malha amostral (Tabela 2). Esses valores de alcance fornecem informações a respeito da heterogeneidade da distribuição espacial em relação às propriedades estudadas no ambiente de estudo, corroborando Oliveira et al. (2015).

O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado segundo Cambardella et al. (1994), para a área de guaraná as variáveis silte e Kr; urucum, K, Ki e Kr; cupuaçu, Kr e floresta, MO, silte, argila, Ki e Kr; apresentaram dependência espacial moderada, apenas Kr na área de cupuaçu apresentou dependência espacial fraca. Os demais atributos estudados apresentaram forte dependência espacial, corroborando com estudos realizados por Mota Júnior et al. (2017), encontrou forte e médio GDE para atributos físicos em áreas de TPI's na região Sul do Amazonas.

Pelos valores de R², destaca-se o maior valor para área de urucum com 0,98 e o menor valor para área de guaraná com 0,76. Onde, observa-se que o modelo esférico se ajustou melhor aos dados deste estudo, juntamente com exponencial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os atributos avaliados apresentaram dependência espacial, variando entre forte e moderada, estando estes adequados ao modelo esférico, caracterizados como o que melhor se adapta aos atributos do solo e explicaram a variabilidade espacial destas variáveis;

Para aplicação do modelo WEPP, de predição de erosão, o valor do fator de erodibilidade das áreas de estudo as áreas que apresentaram menor (K_i) foram guaraná e urucum com $4,70 \times 10^{-2} \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, E. E., NEARING, M. A., WELTZ, M. A., RISSE, L. M., PIERSON, F. B., ZHANG, X. C., LAFLEN, J. M., SIMANTON, J. R. Soil component. In: FLANAGAN, D. C., NEARING, M. A. (Ed.). Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation. **West Lafayette: United States Department of Agriculture/National Soil Erosion Research Laboratory**, 1p. 1995.
- ALENCAR, C. A. B. D., CUNHA, F. F. D., MARTINS, C. E., CÓSER, A. C., ROCHA, W. S. D. D., & ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 98-108, 2009.
- ALMEIDA, D. A., JÚNIOR, W. C. P., NETA, L. C. B., COSTA, M. L. Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém–Roraima. **Acta geográfica**, v. 3, n. 6, p. 39-46, 2010.
- ALMEIDA, S. S. D., AMARAL, D. D. D., & SILVA, A. S. L. D. Análise florística e estrutura de florestas de várzea no estuário amazônico. **Acta amazonica**, v. 34, n. 2, p. 513-524, 2004.
- ARATANI, R. G., FREDDI, O. D. S., CENTURION, J. F., & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 677-687, 2009.
- ARRAES, C. L., PAES BUENO, C. R., PISSARRA, T. C. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.
- BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 256f. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 256p.
- BERTOL, I., LEITE, D., ENGEL, F. L., COGO, N. P., GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um nitossolo háplico alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 541-549, 2007.

BESEN, M. R., RIBEIRO, R. H., MONTEIRO, A. N. T. R., IWASAKI, G. S., & PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, n. 3, p. 429-439, 2018.

BRANCO, S. B., SALVIANO, A. A., MATIAS, S. S., MARQUES JR, J., & SANTOS, H. L. Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 324-330, 2013.

CAMARA, R. K., & KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 789-796, 2005.

CAMPOS, M. C. C., SANTOS, L. D., SILVA, D. D., 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@ambiente on-line**, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CARNEIRO, M. A. C., SOUZA, E. D. D., REIS, E. F. D., PEREIRA, H. S., & AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 4, p. 147-157, 2009.

CARVALHO FILHO, A., CARVALHO, L. C. C., CENTURIOM, J. F., BEUTILER, A. N., CORTEZ, J. W., RIBOM, A. A. Qualidade física de um Latossolo vermelho férreo sob sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 43-51, 2008.

CASTRO, M. N., CASTRO, R. M., & DE SOUZA, C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Uniaraguaia**, v. 4, n. 4, p. 230-241, 2013.

CHUQUIPIONDO, I. G. V. **Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais**. 216 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CLARO-JR, L., FERREIRA, E., ZUANON, J., & ARAUJO-LIMA, C. O efeito da floresta alagada na alimentação de três espécies de peixes onívoros em lagos de várzea da Amazônia Central, Brasil. **Acta amazonica**, v. 34, n. 1, p. 133-137, 2004.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs**. 99 f. Tese de Doutorado. Centro de energia nuclear na agricultura, Universidade de São Paulo, 2003.

COSTA, D. L., SOUZA, L., MELO, N., TAKAKI, A., NETO, C. O. Caracterização Química de Solos Amazônicos com Diferentes Coberturas Naturais. **Enciclopedia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1-14, 2014.

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

CUNHA, J. M., GAIO, D. C., CAMPOS, M. C. C., SOARES, M. D. R., SILVA, D. M. P., LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Brasileira Ambiente e Água**, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

CUNHA, T. J. F., DA SILVA, F. H. B. B., DA SILVA, M. S. L., PETRERE, V. G., SÁ, I. B., DE OLIVEIRA NETO, M. B., & CAVALCANTI, A. C. Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. **Embrapa Semi-Árido. Documentos**, 60p, 2008.

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

DIAS, N. D. S., DUARTE, S. N., GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F. D., & SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 496-504, 2005.

EDUARDO, E. N., CARVALHO, D. D., MACHADO, R. L., SOARES, P. F. C., & ALMEIDA, W. 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.

FERREIRA, S. J. F., LUIZÃO, F. J., MIRANDA, S. Á. F., SILVA, M. D. S. R. D., & VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 59-67, 2006.

FOSTER, G. R. **Modeling the erosion process**. In: HAAN, C. T. (Ed.). Hydrologic modeling of small watersheds. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 297-380, 1982.

FRANÇA, L. C., PIUZANA, D., & ROSS, J. L. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista espacios**, v. 38, n. 31, p. 21-39, 2017.

FREITAS, D. A. F. D., SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L., & CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012.

FREITAS, P. L. D., BLANCANEUX, P., GAVINELLI, E., LARRÉ-LARROUY, M. C., & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

GONÇALVES, F. A. **Validação do modelo wepp na predição de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG**. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

HIGUCHI, N., DOS SANTOS, J., RIBEIRO, R. J., MINETTE, L., & BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 3, p. 153-153, 1998.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 2.ed. Ithaca, Cornell University Press, 324p. 1981.

KLEIN, V. A., & LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, n. 1, p. 857-867, 2002.

KORF, E. P., MELO, E. F. R. Q., THOMÉ, A., ESCOSTEGUY, P. A. V. Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos urbanos de Passo Fundo-RS. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 43-60. 2008.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: LAL, R. **Soil erosion and research methods**. Wageningen: SWCS, 1988.

LEOPOLDO, P. R., MATSUI, E., SALATI, E., FRANKEN, W., & RIBEIRO, M. D. N. G. Composição isotópica da água de chuva e da água do solo em floresta amazônica do tipo terra firme, região de Manaus. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 1, p. 7-13, 1982.

LIMA, E. R. V., KUX, H.J. H, SAUSEM, T. M. Sistemas de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapas de risco de erosão no sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 16, n.2, p. 225-263, 1992.

LOMBARDI NETO. F, BERTONI, J. **Índice de erodibilidade de solos do Estado de São Paulo**. (IAC. Boletim Técnico, 27). Campinas Instituto Agrônomo, Boletim Técnico, 12p, 1975.

MAGALHÃES, I. A. L., NERY, C. V. M., ZANETTI, S. S., DA ROCHA PENA, F. E., CECÍLIO, R. A., & DOS SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para estimativa de perda solo e identificação das áreas susceptíveis a erosão laminar na bacia hidrográfica do rio vieira município de montes claros, MG. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, p. 74-84, 2012.

MANNIGEL, A. R., CARVALHO, M. P. M. D., MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Maringa**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MANNIGEL, A. R., DE PASSOS, M., MORETI, D., MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, p. 1335-1340, 2008.

MARQUES, J. D. S. E. M., CURTI, N., DE LIMA, J. M., FERREIRA, M., SILVA, M., & FERREIRA, D. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 21, n. 3, p. 457-465, 1997.

MC BRATNEY, A. B. WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variogramas of soil properties and fitting them to sampling. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p. 617-639, York, Oxford University Pres, p. 561, 1989.

MELO, N. C., SOUZA, L. C., COSTA, C. A. S., COELHO, R., COVRE, W. P., & COSTA, D. L. P. Caracterização química de diferentes sistemas de uso do solo. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, n. 2, p. 8-13, 2014.

MOTA JÚNIOR, P. C., CAMPOS, M. C. C., MANTOVANELLI, B. C., FRANCISCON, U., CUNHA, J. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em terra preta de índio sob cultivo de café conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 260-271, abr./jun. 2017.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCL, C. A. F.; NEVES JUNIOR, A. F.; SANTOS, A. A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016.

OLIVEIRA, F. P. D., BUARQUE, D. C., VIERO, A. C., MERTEN, G. H., CASSOL, E. A., & MINELLA, J. P. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.1, p. 337-346, 2012.

OLIVEIRA, I. A. D., MARQUES JUNIOR, J., CAMPOS, M. C. C., AQUINO, R. E. D., FREITAS, L. D., SIQUEIRA, D. S., CUNHA, J. M. D. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de argissolos da região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 668-681, 2015.

OLIVEIRA, I. A., CAMPOS, M. C. C., SOARES, M. D. R., AQUINO, R. E., MARQUES JÚNIOR, J., NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1103-1112, 2013.

PASSOS, C., CAMPOS, B. F., ARAÚJO, A. J. C., LUSTOSA, D. C., & VIEIRA, T. A. Sistemas agroflorestais e outros sistemas de uso da terra: prospecção de microrganismos sob solo Amazônico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

- RODRIGUES, G. O., GIAROLLA, A., SAMPAIO, G., & LEAL, K. R. D. **Estimativa da taxa de perda de solo por erosão hídrica na Mesorregião de Ribeirão Preto**. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, p. 1-8, 2015.
- SAMPAIO, E. V., MARIA DO SOCORRO, B. A., & SAMPAIO, Y. S. Propensão à Desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 22, n. 2, p. 59-76, 2008.
- SERAFIM, M. E., OLIVEIRA, G. C. D., VITORINO, A. C. T., SILVA, B. M., & CARDUCCI, C. E. Qualidade física e intervalo hídrico ótimo em latossolo e cambissolo, cultivados com cafeeiro, sob manejo conservacionista do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 733-742, 2013.
- SILVA FILHO, E. P. D. **Estudo da degradação dos solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO)**. 159 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2009.
- SILVA, V. D. D. **Análise de perda de solo, utilizando o modelo (RUSLE) Revised Universal Soil Loss Equation, aplicado com auxílio das técnicas de geoprocessamento na bacia do Ribeirão Reis, Maringá-PR**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 109p, 2008.
- SOUZA, V., GASPARETTO, N. V. L. Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos do município de Maringá-PR por meio de análises físicas e geotécnicas-doi: 10.4025/bolgeogr. V28i2. 10386. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 5-16, 2010.
- STEFANOSKI, D. C., SANTOS, G. G., MARCHÃO, R. L., PETTER, F. A., & PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, n. 2, p. 1301-1309, 2013.
- TAVARES, V. C., DE ARRUDA, Í. R. P., & DA SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.
- VALERIANO, M. M., PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 997-1005, 2001.

WISCHMEIER, W.H. SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide selection of practices for soil and water conservation.** Washington, DC.: USDA, 49p, 1965.