



Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia
Campus Ariquemes

Impactos na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade do solo na conversão de floresta em cupuaçu no Vale do Jamari, Rondônia

Ariquemes - RO

2024

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia Campus Ariquemes

Ana Emely da Silva Alvares

Orientador: Ivanildo Amorim de Oliveira

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das exigências do curso Bacharel em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - Campus Ariquemes.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Alvares, Ana Emely da Silva.

Impactos na variabilidade espacial da resistência do solo á penetração e umidade do solo na conversão de floresta em cupuaçu no vale do Jamari, Rondônia / Ana Emely da Silva Alvares, Witória de Oliveira Araujo, Mariane Marchi Cardoso, Ariquemes-RO, 2024.

23 f.

Orientador(a): Prof. Dr Ivanildo Amorim de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Ariquemes-RO, 2024.

1. Geostatística. 2. Manejo do Solo. 3. Atributos Físicos do Solo. 4. Sistema Agroflorestal. I. Araujo, Witória de Oliveira. II. Oliveira, Ivanildo Amorim de (orient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Renilce Silva Morais, CRB-11/906 (Campus Ariquemes)

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA *CAMPUS* ARIQUEMES**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

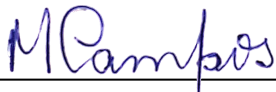
Título do Trabalho: Impactos na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade do solo na conversão de floresta em cupuaçu no Vale do Jamari, Rondônia

Acadêmico: Ana Emely da Silva Alvares

Orientador: Ivanildo Amorim de Oliveira

Conceito Atribuído: 93 pontos

Orientador



Membro da Banca

Membro da Banca

Data da Realização: 22/ 08 / 2024.

Ariquemes – RO

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Patricia da Silva Costa, ao meu pai Ailton José de Lima Alvares, e a minha irmã Cyntia da Silva Alvares, cujo amor, apoio incondicional e incentivo foram fundamentais na minha jornada acadêmica. Agradeço também ao meu orientador, Ivanildo Amorim de Oliveira, pela orientação e paciência ao longo deste processo. Sem o suporte de cada um de vocês, este projeto não teria sido possível.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força, sabedoria e proteção ao longo desta jornada, permitindo-me superar os desafios e conquistar este importante passo em minha vida.

Aos meus pais, Ailton José de Lima Alvares e Patrícia da Silva Costa, e à minha irmã, Cyntia da Silva Alvares, meu eterno agradecimento pelo amor incondicional, apoio e por sempre acreditarem em mim. Vocês foram minha base e inspiração para seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus avós, Dirceu Costa e Maria Odília, por todo o carinho, sabedoria e apoio ao longo da minha vida. Vocês são exemplos de dedicação e amor que levo comigo todos os dias.

À minha tia Flávia e aos meus primos Daniel e Heitor, agradeço pela presença e apoio em todos os momentos, por estarem sempre por perto, torcendo e incentivando minhas conquistas.

Ao meu parceiro de vida e de todas as horas, Eduardo Brito. Obrigada por estar ao meu lado, me apoiando e compartilhando cada momento dessa caminhada.

Ao meu orientador, Ivanildo Amorim de Oliveira, agradeço pela orientação, paciência e pelas valiosas contribuições para a realização deste trabalho. Sua dedicação foi essencial para o desenvolvimento deste projeto e da minha carreira acadêmica.

Às professoras Quezia da Silva e Ludmila Freitas, sou grata pela dedicação e ensinamentos que tanto contribuíram para a minha formação. Suas aulas e orientações foram fundamentais para meu crescimento acadêmico.

Aos meus amigos da faculdade, Witoria Araújo, Heber Hemerick, Vanessa Gretzler, Felipe Silva e Josiele Fernandes, obrigada pela amizade, companheirismo e pelos momentos compartilhados durante esses anos de estudo. Vocês tornaram essa jornada muito mais leve e especial.

A todos, minha sincera gratidão!

Impactos na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade do solo na conversão de floresta em cupuaçu no Vale do Jamari, Rondônia*

Impacts on the spatial variability of soil resistance to penetration and soil moisture in the conversion of forest to cupuaçu in Vale do Jamari, Rondônia

Impactos en la variabilidad espacial de la resistencia del suelo a la penetración y la humedad del suelo en la conversión de bosque a cupuaçu en Vale do Jamari, Rondônia

DOI: 10.54033/cadpedv21n7-166

Originals received: 06/14/2024

Acceptance for publication: 07/05/2024

Ana Emely da Silva Alvares

Acadêmica em Agronomia

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia

Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil

E-mail: alvaresana129@gmail.com

Witória de Oliveira Araujo

Mestranda em Ciência do Solo

Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Endereço: Areia, Paraíba, Brasil

E-mail: witoriaoli1234@gmail.com

Mariane Marchi Cardoso

Acadêmica em Agronomia

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO

Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil

E-mail: marianecardoso.marchi@gmail.com

Marcos Vieira de Oliveira

Acadêmico em Agronomia

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO

Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil

E-mail: oliveiramarcosvieira398@gmail.com

Carlos Daniel Teixeira Silva

Acadêmico em Agronomia

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO

Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil

E-mail: carlosdani16if@gmail.com

Elizângela Morais Barcelos

Acadêmica em Agronomia
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO
Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil
E-mail: e.barcelos@estudante.ifro.edu.br

Heber Fabris Emerick

Acadêmico em Agronomia
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO
Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil
E-mail: heber.f.emerick@gmail.com

Herisson Ferreira dos Santos

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO
Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil
E-mail: herisson.santos@ifro.edu.br

Ludmila de Freitas

Doutora em Ciência do Solo
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO
Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil
E-mail: ludmila.freitas@ifro.edu.br

Ivanildo Amorim de Oliveira

Doutor em Ciência do Solo
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO
Endereço: Ariquemes, Rondônia, Brasil
E-mail: ivanildo.oliveira@ifro.edu.br

*Trabalho de conclusão de curso (TCC) da primeira autora apresentado ao curso de Agronomia do IFRO, *Campus Ariquemes*

RESUMO

Uma das etapas primordiais para o plantio é o preparo do solo, onde deve ser realizado de forma adequada, evitando a compactação e perda da qualidade física. A resistência do solo à penetração (RP) é um atributo indicador da compactação, influenciada pela umidade do solo. Objetivou-se com este trabalho investigar os impactos na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade do solo na conversão da floresta em cupuaçu no Vale do Jamari, Rondônia. O experimento foi realizado em latossolo amarelo sob área de floresta e cupuaçu, encontrados na Amazônia Ocidental, Vale do Jamari, Estado de Rondônia. As áreas estão localizadas na porção centro – norte do estado de Rondônia, no município de Ariquemes. Os pontos de coleta das amostras foram estabelecidos por meio de uma malha com dimensões de 50 m x 100 m, e o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 metros, nas profundidades 0,0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m, perfazendo um total de 66 pontos amostrais na malha. Foram determinados a textura do solo, a resistência do solo a penetração (RSP) e o teor de umidade do solo. Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva e geoestatísticas para a

avaliação da variabilidade espacial. Os valores de RSP, bem como sua variabilidade espacial foram maiores na área de cupuaçu.

Palavras-chave: Geostatística. Manejo do solo. Atributos físicos do solo. Sistema agroflorestal

ABSTRACT

One of the essential steps for planting is soil preparation, which must be carried out properly, avoiding compaction and loss of physical quality. Soil resistance to penetration (RP) is an attribute indicating compaction, influenced by soil moisture. The objective of this work was to investigate the impacts on the spatial variability of soil resistance to penetration and soil moisture in the conversion of forest to cupuaçu in Vale do Jamari, Rondônia. The experiment was carried out in a yellow latosol under forest and cupuaçu areas, found in the Western Amazon, Vale do Jamari, State of Rondônia. The areas are located in the central – northern portion of the state of Rondônia, in the municipality of Ariquemes. The sample collection points were established using a mesh with dimensions of 50 m x 100 m, and the soil was sampled at the crossing points of the mesh, with regular spacing of 10 meters, at depths 0.0–0.10, 0.10–0.20 and 0.20–0.40 m, making a total of 66 sampling points on the grid. Soil texture, soil resistance to penetration (RSP) and soil moisture content were determined. The data were subjected to descriptive statistical analysis and geostatistics to assess spatial variability. RSP values, as well as their spatial variability, were higher in the cupuaçu area.

Keywords: Geostatistics. Soil management. Physical attributes of the soil. Agroforestry system

RESUMEN

Uno de los pasos imprescindibles para la siembra es la preparación del suelo, la cual debe realizarse de forma adecuada, evitando compactación y pérdida de calidad física. La resistencia del suelo a la penetración (RP) es un atributo que indica compactación, influenciado por la humedad del suelo. El objetivo de este trabajo fue investigar los impactos sobre la variabilidad espacial de la resistencia del suelo a la penetración y la humedad del suelo en la conversión de bosque a cupuaçu en Vale do Ja-mari, Rondônia. El experimento se llevó a cabo en un latosol amarillo bajo áreas de bosque y cupuaçu, que se encuentra en la Amazonia Occidental, Vale do Jamari, Estado de Rondônia. Las áreas están ubicadas en la porción centro – norte del estado de Rondônia, en el municipio de Ariquemes. Los puntos de recolección de muestras se establecieron mediante una malla con dimensiones de 50 m x 100 m, y el muestreo del suelo se realizó en los puntos de cruce de la malla, con espaciamientos regulares de 10 metros, a profundidades de 0,0 a 0,10, 0,10 a 0,20 y 0,20 a 0,40. m, haciendo un total de 66 puntos de muestreo en la grilla. Se determinó la textura del suelo, la resistencia a la penetración (RSP) y el contenido de humedad del suelo. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo y geoestadística para evaluar la variabilidad espacial. Los valores de RSP, así como su variabilidad espacial, fueron mayores en el área de cupuaçu.

Palabras clave: Geoestadística. Manejo del suelo. Atributos físicos del suelo. Sistema agroforestal

1 INTRODUÇÃO

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) é um dos frutos mais consumidos na região Amazônica e sua polpa é utilizada em grande escala para a produção de sucos, doces, sobremesas, recheios e sorvetes (Matos, 2013), sendo encontrado principalmente por toda a Bacia Amazônica. É uma fruta popular, pelas suas excelentes características de aroma e sabor, possuindo bons teores de acidez, grau brix e pectina (Idam, 2021), e a semente, que obtêm um produto semelhante ao chocolate, de finíssima qualidade, caseiro ou industrial, que no caso de ser fabricado com sementes de cupuaçu recebe o nome de cupulate (Ribeiro, 2000).

O maior produtor nacional é o estado da Bahia, enquanto, na região norte, o estado de Rondônia tem sua devida notoriedade na produção nacional, com destaque para os municípios de Porto Velho, Monte Negro, Candeias do Jamari e Ariquemes. Neste sentido, para o cultivo do cupuaçuzeiro obter elevadas produtividades, estima-se que a cultura seja implantada em áreas com solos de alta fertilidade e elevado teor de argila (Gondim *et al.*, 2001).

Em um sistema produtivo, além dos cuidados com a fertilidade do solo, devem-se buscar condições físicas do solo adequadas às plantas para garantir à produtividade agrícola. Conforme destaca Bottega *et al.* (2011), uma das formas de alterar a condição física do solo é por meio de seu manejo, buscando criar condições estruturais favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da planta, tanto da parte aérea quanto das raízes. No decorrer do preparo do solo e semeadura são aplicadas forças compactativas que podem afetar a resistência do solo à penetração (Voorhees *et al.*, 1989).

Um parâmetro utilizado para indicar a qualidade física do solo é a textura do solo, pois através da sua determinação é possível inferir sobre outros parâmetros, além de compreender o comportamento e manejo do solo, fator importante para a produtividade agrícola (Centeno *et al.*, 2017). A textura influencia na dinâmica da adesão e coesão entre as partículas de solo, bem como o manejo dos mesmos, e, por conseguinte, na resistência do solo à penetração

(RSP), bem como na dinâmica da água no solo. He *et al.*, (2014), destacam que a textura pode ser utilizada como fator ambiental, pois está relacionada com processos ecológicos, como a ciclagem de nutrientes e troca de íons.

A RSP visa descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele (Pedrotti *et al.*, 2001). É utilizada frequentemente como indicador da compactação do solo por estar diretamente relacionada ao crescimento das plantas e ser de fácil e rápida determinação (Tavares Filho; Ribon, 2008), sendo que esta propriedade é influenciada pela umidade do solo, textura, densidade e estrutura do solo (Dalchiavon *et al.*, 2011).

A avaliação dos atributos físicos do solo pode auxiliar na tomada de decisão, para verificação da influência do manejo na degradação da qualidade do solo (Ramos *et al.*, 2019). Assim, a estatística mostra-se, como uma poderosa ferramenta para a análise e avaliação de dados obtidos em um determinado estudo, sendo muitas vezes um tanto difícil para os profissionais trabalharem conceitos e elaborarem exemplos práticos aplicados aos solos (Oliveira, 2013).

O estudo da variabilidade de atributos do solo no espaço pode ser realizado com base nas ferramentas geoestatísticas, e o resultado é obtido pelo ajuste de um modelo denominado semivariograma, que estuda o grau de dependência espacial entre os pontos amostrais distribuídos em um esquema sistemático e referenciado de amostras (Isaaks; Srivastava, 1989). Isso permite a construção de mapas de isolinhas (Vieira, 2000), que podem ser utilizados na agricultura de precisão (AP). O uso da geoestatística na AP tem por objetivo caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das culturas e estimar as inter-relações desses atributos no espaço e no tempo (Bernardi *et al.*, 2015).

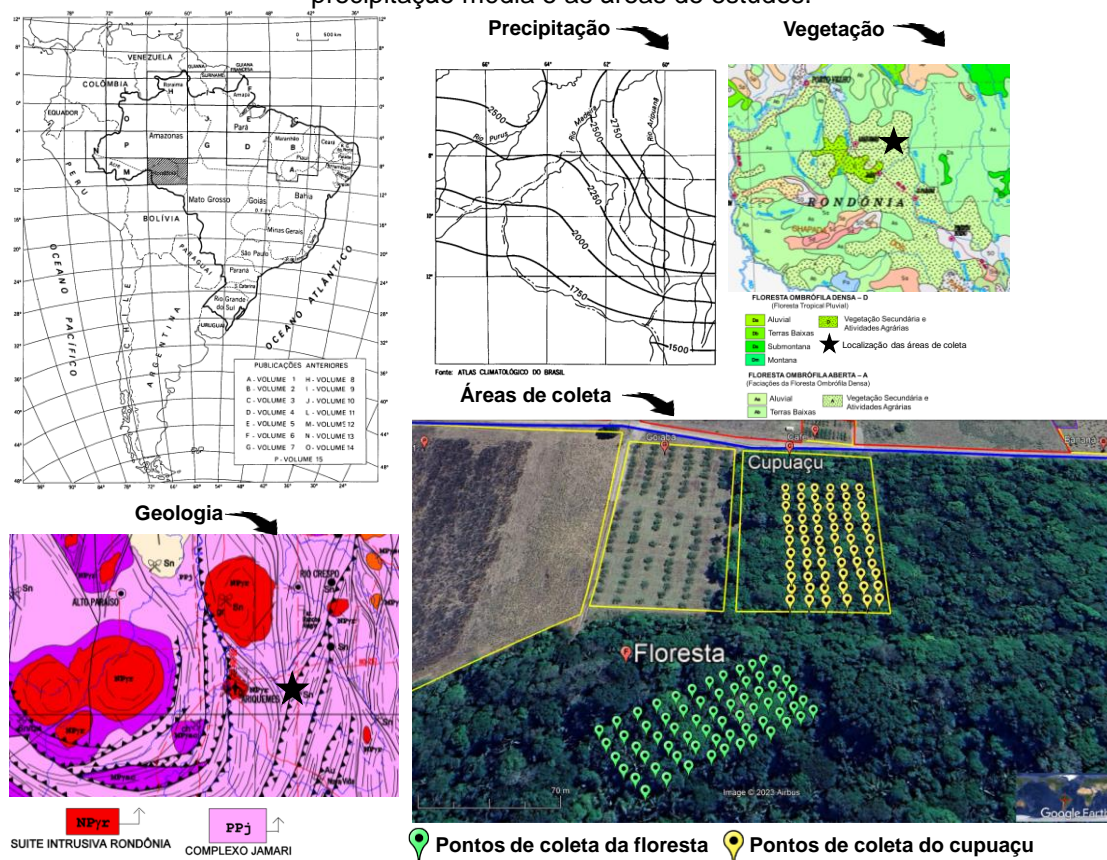
Portanto, o este trabalho tem como objetivo avaliar os impactos ocorridos na resistência de solo à penetração e umidade do solo na conversão floresta em cultivo de cupuaçu em consórcio com seringueira no Vale do Jamari, Rondônia.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em solos sob cultivo de cupuaçu (cupuaçu em consórcio com seringueira) e floresta nativa, em áreas experimentais do Instituto Federal de Rondônia - *Campus* Ariquemes, situado nas coordenadas geográficas

9°57'08.9"S e 62°57'26.6"W, com altitude média de 135 m. A região se encontra na Amazônia Ocidental, Vale do Jamari, localizadas na porção centro – norte do estado de Rondônia (Figura 1). O manejo da área de cupuaçu era realizado segundo recomendações técnicas, com calagem em cobertura, e adubação de manutenção e produção, e colheitas realizadas com auxílio de trator agrícola (New Holland Ts 6020) e carretinha de arraste, para retirada dos frutos.

Figura 1. Mapa de localização e mostrando perfil esquemático de coleta, vegetação, geologia, precipitação média e as áreas de estudos.



O clima da região pertence ao grupo A (Tropical Chuvoso), segundo Köppen, tipo climático Aw, transição entre os tipos Af e Aw, quente e úmido (chuvas do tipo monção com maiores quedas pluviométricas processadas no outono). A pluviosidade está limitada as isoietas anuais de 1.750 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro prolongando-se até junho, a temperatura média anual de 24°C e umidade relativa do ar variando entre 80 e 85% (Brasil, 1978). O solo foi classificado como Latossolo Amarelo (Santos *et al.*, 2018), conforme a classificação do Perfil-RO 12 da XII Reunião Brasileira de

Classificação e Correlação de Solos (Lumbreras *et al.*, 2019).

A cobertura vegetal predomina a Floresta Tropical Densa dos climas quentes úmidos e superúmidos sendo caracterizada sobretudo por suas grandes árvores, por vezes com mais de 50 m de altura, com frequentes grupamentos de palmeiras e enormes quantidades de fanerófitas sarmentosas, que envolvem as árvores e recobrem completamente o estrato inferior (Brasil, 1978). A geologia da região apresenta rochas Granitos Rondonianos do Pré-Cambriano Superior; arenitos arcoseanos, localmente quartzíticos, brancos a vermelhos, folhelhos, siltitos e quartzitos do Pré-Cambriano Superior e Eopaleozóico e sedimentos são de natureza arenosa, siltosa e argilosa, recobertos por depósitos de resíduos vegetais de constituição e grau de decomposição diversos do Quaternário (Holoceno) (Brasil, 1978).

Nas áreas de estudos, foi estabelecida uma malha amostral com dimensões de 50 m x 100 m, e o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 metros, perfazendo um total de 66 pontos amostrais na malha. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin GPSMAP 64SX (Datum SIRGAS_2000). Em seguida, coletou-se sob cada ponto amostral amostras de solos deformadas na profundidade de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, além de uma terceira amostragem na profundidade equivalente ao horizonte diagnóstico subsuperficial, na camada de 0,20–0,40 m, em apenas 18 pontos amostrais, para avaliação dos variações dos atributos do solo nestas camadas sem interferência do manejo. Nestas amostras, foi determinada a análise granulométrica pelo método da pipeta, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017).

Foi coletado em cada ponto amostral, amostras deformadas de solos para determinação da umidade gravimétrica (U_g) e medidos a resistência do solo à penetração (RSP) nas profundidades de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. A U_g ou teor de água no solo foi determinado conforme o proposto pela Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017). Para a determinação da RSP, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida segundo Stolf (1991), aplicando a Equação 1:

$$RSP = \{5,6 + 6,89 [N/(P-A) - 10]\} 0,0981 \quad (1)$$

onde: RSP - resistência do solo à penetração, kgf cm⁻² (kgf cm⁻² x 0,098 = MPa); N – número de impactos por camada avaliada; P – profundidade inicial (na camada avaliada); A – profundidade final (na camada avaliada).

Foi realizada análise exploratória dos dados, calculando-se média, mediana, mínimo e máximo, coeficiente de variação (CV%), desvio padrão, coeficiente de assimetria, curtose e teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. O CV% foi classificado com base nos critérios de Warrick e Nielsen (1980) que classifica o CV como baixo < 12 %, médio de 12 a 24 % e alto > 24 %. As análises estatísticas foram processadas com o auxílio do programa Surfer 8.0 (Golden Software Inc, 1999). Para a hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, disponível no programa estatístico Statistica 7.0 (Statistica, 2005). Para determinação da existência da dependência espacial foram modelados semivariogramas, utilizando análise geoestatística (Isaaks; Srivastava, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 2:

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

sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para o vetor h; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; alcance, a ; R^2 = coeficiente de determinação). O C_0 é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o $C_0 + C_1$ é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é à distância da origem até onde o $C_0 + C_1$ atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (Vieira *et al.*, 1983; Trangmar, Yost e Uehara, 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, foi utilizado os semivariogramas, por meio do programa

GS+ versão 7.0 (Robertson, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo semivariograma para o mesmo atributo, foi considerado o melhor R^2 e coeficientes da validação cruzada (VC).

Na análise do grau de dependência espacial (GDE) - $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ - das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), no qual os valores de GDE menores que 25 % são considerados dependência espacial forte, valores de GDE entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de GDE maiores que 75 % dependência espacial fraca.

Os valores interpolados por meio da krigagem e ajustes de semivariogramas foram usados para construção de mapas dos atributos avaliados, com uso do programa Surfer 8.0 (Golden Software Inc., 1999). Esse método permite a comparação dos mapas espaciais de diferentes variáveis. A construção dos mapas espaciais ou mapas de isolinhas serviram de base para visualização das relações espaciais entre os atributos dos solos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estatística descritiva dos atributos físicos dos solos está apresentada na Tabela 1. De forma geral, os valores de média e mediana se encontram próximos para todos os atributos, evidenciando que os mesmos aproximam-se de uma distribuição normal. Isso pode ser um indicativo de que os dados seguem distribuições simétricas, sendo estes justificados pelos valores de assimetria e curtose próximos de zero, verificando simetria dos dados, o que indica que as técnicas geoestatísticas podem ser aplicadas a estes atributos.

Estes resultados corroboram com Kamimura *et al.* (2013), ao avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira, e Alho *et al.* (2016), avaliando atributos físicos e geoespaciais de Cambissolo e Argissolo em área de campo natural e floresta, na região de Humaitá, AM. Exceção faz-se para umidade de 0,0-0,10 m com valor de assimetria 4,65 na floresta nativa e 6,82 na profundidade de 0,10-0,20 m no cupuaçu, bem como a umidade do solo que apresentou valor de curtose de 50,64 na camada de 0,10-0,20 m e 8,97 na camada de 0,20-0,40 m no cupuaçu, e de 29,34 na camada de 0,0-0,10 m e 11,53 na camada 0,20-0,40 m na floresta nativa.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos físicos estudando nas áreas de floresta nativa e cupuaçu, nas profundidades de 0,0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m e 0,20-0,40 m.

Estatística	Areia	Argila	RSP	Umidade	Areia	Argila	RSP	Umidade	Areia	Argila	RSP	Umidade
	-----g kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----			
	----- 0,0-0,10 m -----				----- 0,10-0,20 m -----				----- 0,20-0,40 m -----			
Cupuaçu												
Média	327,60	445,15	8,29	17,88	282,80	475,91	9,38	22,56	242,81	353,33	7,70	22,50
Mediana	340,88	445,00	7,98	18,31	294,00	475,00	9,34	21,03	261,50	345,00	7,98	22,41
Mínimo	180,75	295,00	3,93	7,69	79,00	310,00	3,93	16,84	169,50	200,00	3,25	13,93
Máximo	405,75	660,00	13,39	23,02	341,50	690,00	15,42	87,81	287,50	460,00	13,39	25,70
DP	51,85	78,74	5,20	3,22	49,00	82,22	2,15	8,69	44,15	65,35	1,86	1,72
Var.	2688,37	6199,21	4,21	10,38	2400,92	6759,93	4,62	75,60	1949,30	4270,59	3,45	2,95
CV(%)	16,00	18,00	25,00	18,00	17,00	17,00	23,00	39,00	18,00	18,00	24,00	8,00
Curtose	0,56	-0,25	-0,11	1,78	3,19	0,07	0,41	50,64	-1,38	0,41	0,94	8,97
Ass.	-1,01	0,30	0,29	-1,26	-1,39	0,37	0,17	6,82	-0,60	-0,24	-0,16	-1,88
d	0,14*	0,07 ^{ns}	0,11*	0,14*	0,12*	0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,36*	0,20*	0,15*	0,09 ^{ns}	0,13*
Floresta Nativa												
Média	171,75	671,97	4,54	29,51	143,98	683,18	6,19	29,17	125,31	732,22	5,65	28,90
Mediana	172,38	677,50	4,61	28,98	142,25	690,00	6,63	28,82	126,75	745,00	5,96	28,68
Mínimo	134,25	530,00	1,23	25,50	127,50	490,00	2,58	26,71	115,00	570,00	2,58	26,77
Máximo	232,00	810,00	7,31	49,88	166,00	840,00	8,66	32,84	139,00	780,00	7,98	35,94
DP	16,45	44,04	1,32	9,20	9,96	52,83	1,36	1,41	8,2024	48,94	01,03	1,40
Var.	270,59	1939,14	1,74	9,54	99,22	2791,26	1,85	1,98	50,06	2394,80	01,06	1,97
CV(%)	10,00	7,00	29,00	10,00	7,00	8,00	22,00	5,00	6,00	7,00	18,00	5,00
Curtose	1,70	2,67	0,27	29,34	-0,67	3,22	0,21	-0,13	-0,97	07,08	0,47	11,53
Ass.	0,56	-0,57	-0,07	4,65	0,51	-0,53	-0,63	0,64	0,10	-2,46	-0,49	2,85
d	0,05 ^{ns}	0,11*	0,16*	0,21*	0,10 ^{ns}	0,14*	0,19*	0,15*	0,12*	0,26*	0,13*	0,18*

DP: desvio-padrão; Var.: Variância CV: coeficiente de variação; Ass: assimetria; d: teste de normalidade, ^{ns} e * Não significativo e significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Fonte: Os autores (2024).

Houve aumento da RSP da profundidade de 0,0-0,10 m para 0,10-0,20 m, com diminuição da RSP na profundidade de 0,20-0,40 m em relação à camada superior (0,10-0,20 m). Em seu trabalho, Campos *et al.* (2012) encontraram aumento em profundidade da RSP em um Cambissolo sob cultivo de mandioca em Humaitá-AM, na camada de 0,15-0,30 m. Em virtude de o solo ter atingido valores de RSP superiores a 2,0 MPa, nas camadas estudadas, o solo pode ser considerado compactado pois, segundo os autores Camargo (1983), Arshad *et al.* (1996) e Camargo e Alleoni (1997), valores elevados de RSP promovem restrição significativa ao crescimento radicular de culturas em sistemas de preparo convencional. Já Tormena e Roloff (1996) afirmam que o valor de 1 MPa é crítico, mas não impede o crescimento. Dexter (1987) afirma que a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco, e em condições de maior umidade no solo pode haver crescimento radicular mesmo em valores de RSP superiores a 4,0 MPa. Já Hamza e Anderson (2005) citam que valores de RSP entre 2,0 MPa e 3,0 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas.

A área de cupuaçu apresentou maiores teores de areia, e os maiores teores de argila foram encontrados na área de floresta nativa com aumento em profundidade 671,97 g kg⁻¹, 683,18 g kg⁻¹ e 732,22 g kg⁻¹ respectivamente nas profundidades 0,0-0,10 m, 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m (Tabela 1). Comportamentos similares foram encontrados por Lima *et al.* (2020) avaliando a erodibilidade do solo em áreas de conversão de floresta em ambientes cultivados (cupuaçu, guaraná e urucum) no sul do Amazonas.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade para alguns atributos nos ambientes estudados, como a argila de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, RSP de 0,20-0,40 m para a área de cupuaçu; argila de 0,0-0,10 m e areia de 0,10-0,20 m para a área de floresta nativa. As demais profundidades para os atributos avaliados foram significativas ao teste, ou seja, não apresentaram normalidade. Embora Isaaks e Srivastava (1989) afirmem que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, essa permite observar maior precisão das estimativas da krigagem por meio de seus valores médios.

Seguindo a classificação do CV, proposta por Warrick e Nielsen (1980), os valores de CV para a classificação de variáveis do solo, indicam variabilidade

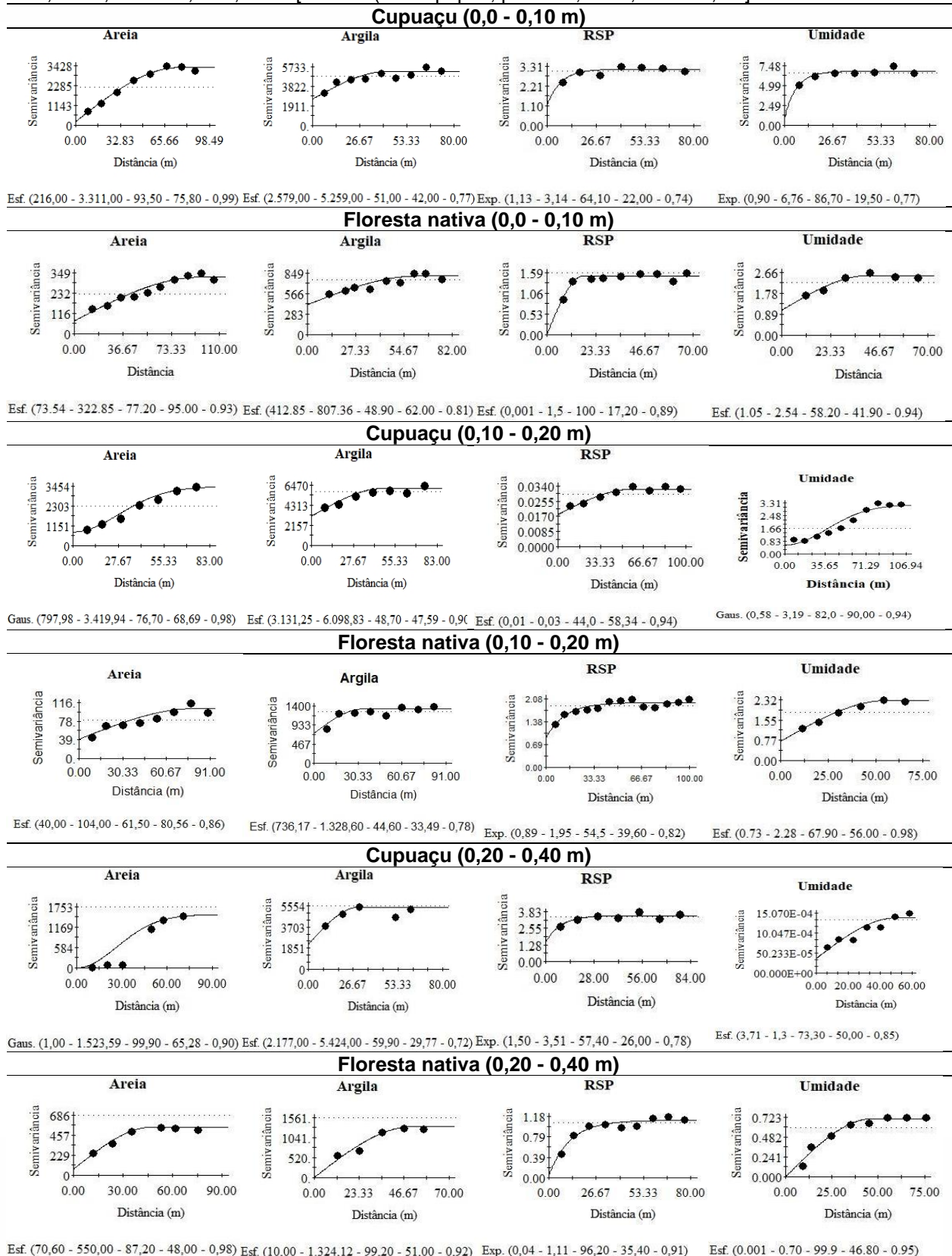
baixa ($CV \leq 12\%$), média (CV de 12 a 24 %) e alta ($CV \geq 24\%$), para os atributos estudados (Tabela 1). Dentre os atributos estudados, a RSP na camada de 0-0,10 m para as duas áreas estudadas e a umidade na camada de 0,10-0,20 m apresentaram valores altos de CV. Isso pode ser um indicativo de uma alta variabilidade, que pode influenciar nos métodos ou quantidade de amostragem para determinação destes atributos nestes solos.

A estatística descritiva permitiu verificar pequena variação nos atributos do solo na área de cupuaçu em relação ao da floresta, tanto nos valores da média, assimetria e principalmente no CV, em que é possível verificar maiores variações em relação à floresta (Tabela 1). Contudo, a medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não se permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo, nem seu padrão espacial (Warrick; Nielsen, 1980). Para isso, com a análise geoestatística e ajuste de semivariogramas, observou-se que as áreas estudadas apresentaram variabilidade espacial para os atributos avaliados (Figura 2 e 3).

A areia na profundidade de 0,10-0,20 m e umidade 0,20-0,40 m na área de cupuaçu ajustaram-se ao modelo gaussiano, indicando pequena variabilidade para curtas distâncias (Landim, 2006). O modelo gaussiano é usado para modelar fenômenos extremamente contínuos (Isaaks; Srivastava, 1989), porém, segundo Grego e Vieira (2005), os modelos de semivariogramas esféricos e exponenciais são os que mais se ajustam aos dados dos atributos do solo.

Avaliando o alcance dos semivariogramas, é possível observar que os atributos apresentaram variabilidade espacial menor que o estabelecido na malha amostral (Figura 2). Em geral, a área com cupuaçu apresenta valores de alcance menores em relação à área com floresta, indicando maior variabilidade dos dados. Estes valores de alcance fornecem informações a respeito da heterogeneidade da distribuição espacial em relação às propriedades estudadas em cada sistema de manejo. Os alcances dos atributos avaliados oscilaram de 19,50 m a 90 m para a área de cupuaçu e de 17,20 m a 95,00 m para a área de floresta nativa.

Figura 2. Parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos físicos atributos físicos estudando nas área de floresta nativa e cupuaçu, nas profundidades de 0,0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m e 0,20-0,40 m. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R²).



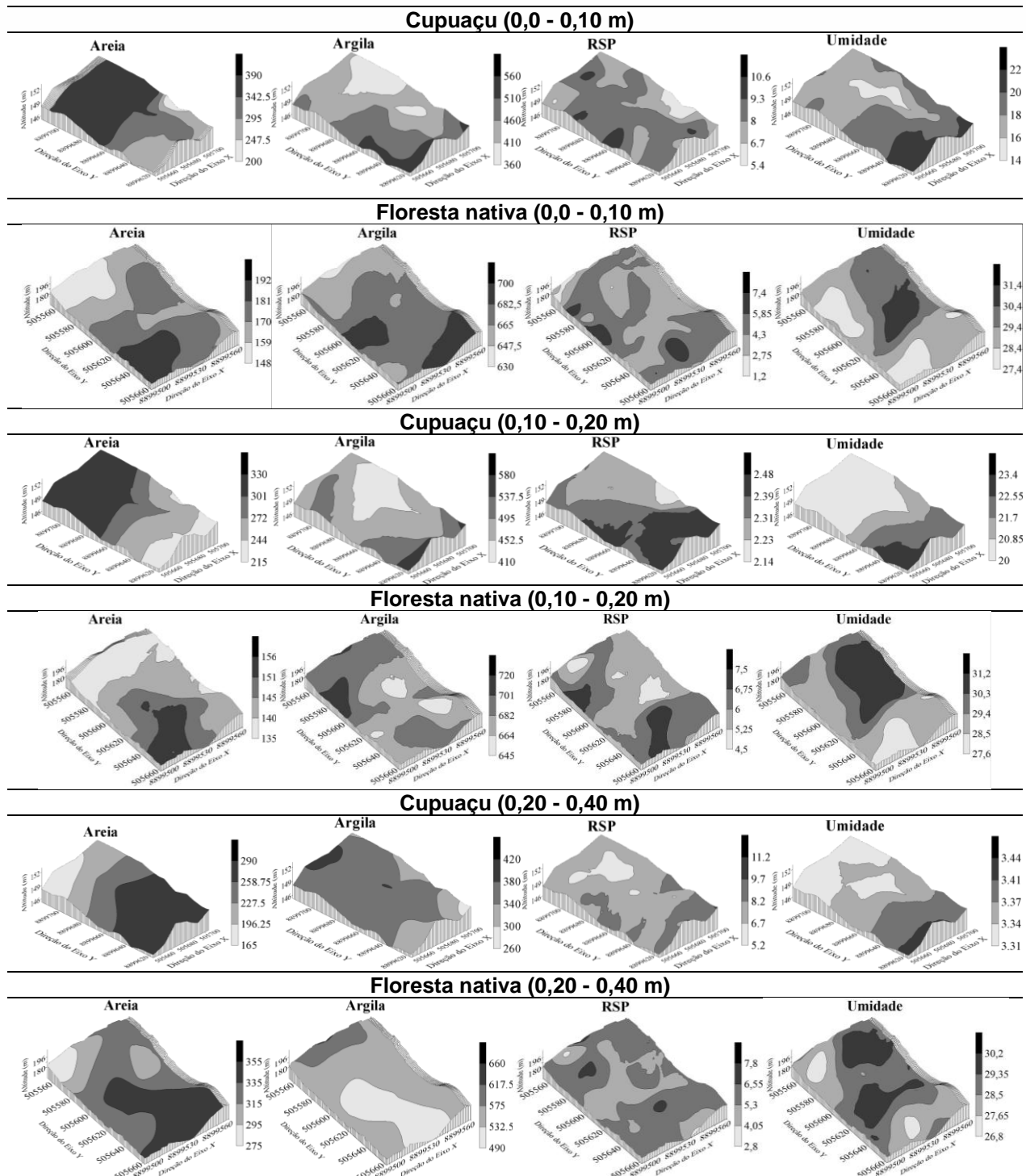
GDE = grau de dependência espacial; R² = Coeficiente de determinação. Fonte: Os autores (2024)

Estes valores mostram que possivelmente existe uma maior heterogeneidade dos atributos na área de cupuaçu, fato justificado em razão de estes solos terem sofrido movimentações antrópicas, o que pode causar uma maior variabilidade dos atributos (Figura 2 e 3). Segundo Vieira (2000), o alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão dependentes espacialmente entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio menor ou igual ao alcance são mais similares.

Em seu trabalho, Oliveira *et al.* (2013) afirmaram que o valor de alcance influencia na qualidade das estimativas, sendo, o qual determina o número de valores usados na interpolação, ressaltando que estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária, utilizando valores maiores de alcances, aproxima-se dos mais confiáveis, apresentando mapas que representam melhor a realidade. Nesse sentido, Souza *et al.* (2009) afirmaram que uma das principais utilizações dos semivariogramas é na determinação do número ideal de amostras de solos para a estimação das características do solo. Vale destacar que, o alcance da dependência espacial (a), do semivariogramas é a distância na qual a semivariância se estabiliza e pode ser entendida como a distância acima da qual os valores das variáveis em estudo não mais se correlacionam.

O grau de dependência espacial (GDE) para os semivariogramas escalonados, expresso pela razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$) (Cambardella *et al.*, 1994), foi classificado como moderado para quase todos os atributos nas áreas estudadas (Figuras 2), exceto para todos os atributos da floresta na profundidade 0,20-0,40 m (Figura 2) o qual apresentou GDE fraco (>75%), argila de 0,0-0,10 m e na área de cupuaçu, a areia na três profundidades estudadas e umidade nas profundidades 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, corroborando com Oliveira *et al.* 2014), que utilizaram semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar, na região sul do Amazonas. Para Cambardella *et al.* (1994), as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada, possivelmente seria devido à homogeneização do solo.

Figura 3. Mapas de krigagem ajustados aos atributos físicos atributos físicos estudando nas área de floresta nativa e cupuaçu, nas profundidades de 0,0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m e 0,20-0,40 m.



RSP = resistência do solo a penetração. Fonte: Os autores (2024).

A distribuição geoespacial dos atributos do solo foi avaliada por meio dos mapas de krigagem (Figura 3), permitindo a visualização de mudanças nos valores dos atributos físicos da área de SAF

mostram maior heterogeneidade da distribuição dos atributos, conforme a escala de valores definidos neste estudo (Figura 3). Esse comportamento é justificado pelo menor alcance da dependência espacial (Figura 2) e microvariações no formato do relevo (Campos *et al.* 2011).

Comparando as informações entre os valores de RSP e umidade do solo, notou-se que os maiores teores de umidade do solo para as profundidades avaliadas coincidem com os menores valores de RSP do solo nas profundidades estudadas, este mesmo comportamento foi observado por Roque *et al.* (2011), onde as áreas que apresentaram as menores produtividades também mostraram menores teores de água no solo e altos valores de resistência do solo à penetração.

4 CONCLUSÃO

A resistência do solo à penetração apresentou aumento em profundidade, até 0,10-0,20 m, seguido de uma diminuição em profundidades maiores, o que indica compactação do solo em superfície, especialmente na área de cupuaçu.

A variabilidade dos atributos do solo, conforme indicado pelos coeficientes de variação, foi maior na área de cupuaçu, possivelmente devido a atividades antropogênicas. A análise geoestatística revelou que as áreas estudadas apresentaram dependência espacial nos atributos do solo, e a menor distância de alcance observada na área de cupuaçu indica maior variabilidade dos dados.

Os mapas de krigagem permitiram visualizar a distribuição geoespacial dos atributos, confirmando a maior heterogeneidade na área de cupuaçu. A correlação entre maior umidade e menores valores de RSP sugere uma interação importante entre esses atributos, afetando a dinâmica do solo.

Os resultados deste estudo oferecem uma compreensão detalhada das variações espaciais dos atributos físicos do solo em áreas estudadas, destacando a importância de considerar essas variabilidades na gestão e uso sustentável do solo. O uso de técnicas geoestatísticas foi eficaz para avaliar a dependência espacial dos atributos, proporcionando *insights* valiosos para o planejamento e manejo das áreas. Sugere-se estudos mais detalhados nestes ambientes amazônicos, com avaliação conjunta de atributos físicos e químicos dos solos,

para determinar a amostragem destes solos em ambientes amazônicos, por meio de ferramentas de análise da variabilidade espacial dos atributos destes solos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Rondônia -IFRO *Campus* Ariquemes, pelo aporte financeiro destinado à publicação deste artigo.

REFERÊNCIAS

ALHO, L. C. *et al.* Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.3, p.246-254, 2014.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Org.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, p.123-141. 1996.

BERGAMIN, A. C. *et al.* Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento Radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.3, p. 681-691, 2010.

BERNARDI, A. C. C. *et al.* Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 211-227, 2015.

BOTTEGA, E.L. *et al.* Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelhodistroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**, folha SC. 20, Porto Velho. 1978.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132p.

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

CAMPOS, M. C. C. *et al.* Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v.70, n.3, p.598-609, 2011.

CAMPOS, M. C. C. *et al.* Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agro@ambiente Online**, v.6, n.1, p.9-16, 2012.

CENTENO, L.N. *et al.* Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.4, n.1, p.31-37, jul. 2017.

DALCHIAVON, F. C. *et al.* Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.8-19, 2011.

DEXTER, A.R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, v.98, n.3, p.303-312, 1987.

EMBRAPA. **Mapa do Município de Ariquemes**. Embrapa Amazônia Oriental, 1998. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144421/1/Mapa-ARIQUEMES.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2024.

GOLDEN SOFTWARE INC. **SURFER for Windows: release 7.0**: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide. New York, 1999.

GONDIM, T. M. de S. *et al.* Aspectos da produção do cupuaçu. **Documentos** n. 67. Embrapa Acre. Rio Branco, Acre. 2001.

GREGO, C. R., OLIVEIRA, R. P., VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. *In*: Bernardi, A. C. C. *et al.* **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p.74-83.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n.2, p.121- 145, 2005.

HE, Y. *et al.* A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rainfed condition. **Scientific reports**, v. 4, p. 1-12, 2014.

IBGE. **Censo Agropecuário**: Valor da produção, Quantidade produzida, Área colhida, Maior produtor, Estabelecimentos, Número de pés. Produção de cupuaçu. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cupuaçu/br>. Acesso em: 10 maio 2024

IBGE. **Mapas temáticos**. 2008. Disponível em:
<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/>. Acesso em: 10 maio 2024.

IDAM. **Cultivo de cupuaçu na agricultura familiar**. 2021. Disponível em: www.idam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Cupuaçu.pdf. Acesso em: 20 maio 2024.

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

KAMIMURA, K. M. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 877-888, 2013.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, v.2, n.1, p. 19-33, 2006.

LUMBRERAS, J. F. *et al.* **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Embrapa Brasília, DF, 2019.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n.8, p. 1246-1266, 1963.

MATOS, T. M. **Estudo do aproveitamento do resíduo da gordura de cupuaçu para biodiesel**. 2013. Dissertação (Mestrado em Química Analítica), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013

OLIVEIRA, I. A. *et al.* Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias / Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, p. 287-296, 2014.

OLIVEIRA, I.A. **Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região Sul do Amazonas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal- SP, 2013.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A. CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n.3, p. 521-529, 2001.

RAMOS, A. M. R. *et al.* Atributos físicos do solo em sistema consorciado e monocultivo do maracujá (*Passiflora edulis*). **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 80-87, 2019.

RIBEIRO, G. D. **A cultura do cupuaçuzeiro em Rondônia**. 2.ed. Porto Velho: EMBRAPA-CPAF Rondônia, 2000.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152 p.

ROQUE, A. A. O. *et al.* Atributos físicos do solo e intervalo hídrico do solo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, v.41, n.9, p.1536-1542, 2011.

ROQUE, M. W. *et al.* Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.5, p. 1827-1835, 2008.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SOUZA, Z. M. *et al.* Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscapes hapes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 2, p. 305316, 2009

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.487-494, 2008.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 573, 2017.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, n.1, p.54-94, 1985.

VIEIRA, S. R. *et al.* Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, G.R., (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VOORHESS, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W.; NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, v.81, p.294-303, 1989.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In*: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p.319-344.