

Impactos na variabilidade espacial da densidade e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia

Impacts on spatial variability of soil density and porosity as a function of the transformation of forest into pasture in Vale do Jamari, Rondônia

Impactos en la variabilidad espacial de la densidad y porosidad del suelo en función de la transformación del bosque en pastizal en Vale do Jamari, Rondônia

Recebido: 28/10/2022 | Revisado: 09/11/2022 | Aceitado: 10/11/2022 | Publicado: 17/11/2022

Witória de Oliveira Araujo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7676-2648>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: witoriaoli1234@gmail.com

Ana Emely da Silva Alvares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-9482>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: alvaresana129@gmail.com

Heber Fabris Emerick

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5062-0326>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: heber.f.emerick@gmail.com

Samuel Nunes da Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1978-412X>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: samuelnunesdacruz1997@gmail.com

Marcos Vieira de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6799-2313>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: oliveiramarcosvieira398@gmail.com

Carlos Daniel Teixeira Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3557-8051>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: carlosdani16if@gmail.com

Wilk Sampaio de Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5872-9484>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: wilk.almeida@ifro.edu.br

Milton César Costa Campos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: mcesarsolos@gmail.com

Ludmila de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9976-3387>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: ludmila.freitas@ifro.edu.br

Ivanildo Amorim de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2299-3229>
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: ivanildo.oliveira@ifro.edu.br

Resumo

Com a substituição das áreas de florestas por culturas agrícolas ou pastagens ocorrem alterações nos atributos dos solos, como aumento da densidade do solo, desagregação e perda de matéria orgânica. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos ocorridos na variabilidade espacial dos atributos de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade em área que sofreu alteração de floresta em pastagem no vale do Jamari, RO. O experimento foi realizado em solos sob ambiente natural e alterado, 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 Foi estabelecida uma malha amostral em cada sistema de uso do solo. As dimensões de cada malha foram de 50 x 100 m, perfazendo um total de 66 pontos amostrais em cada malha. Nos pontos de cruzamento foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada com uso de anel volumétrico na profundidade de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Foram avaliados os atributos físicos: densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total. As análises estatísticas foram processadas com o auxílio do programa Surfer 8.0. Para a hipótese de

normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, disponível no programa estatístico Statística 7.0. A pastagem apresentou moderadas variações nos seus atributos físicos em relação a floresta nativa. Os valores dos atributos físicos de densidade do solo foram maiores na área da pastagem. A floresta apresentou maior homogeneidade dos dados espaciais, com maiores alcances.

Palavras-chave: Atributos do solo; Área degradada, Compactação, Física do solo.

Abstract

With the replacement of forest areas by agricultural crops or pastures, changes occur in soil attributes, such as increased soil density, breakdown and loss of organic matter. The present work aimed to evaluate the impacts on the spatial variability of the attributes of soil density, total porosity, macro and microporosity in an area that suffered alteration from forest to pasture in Vale do Jamari, RO. The experiment was carried out in soils under natural and altered environments, 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. A sampling grid was established in each land use system. The dimensions of each mesh were 50 x 100 m, making a total of 66 sampling points in each mesh. At the crossing points, soil samples with preserved structure were collected using a volumetric ring at a depth of 0.0-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.20 m. The physical attributes were evaluated: soil density, macro and microporosity and total porosity. Statistical analyzes were processed using the Surfer 8.0 program. For the hypothesis of normality of the data, it was tested by the Kolmogorov-Smirnov test, available in the statistical program Statística 7.0. The pasture showed moderate variations in its physical attributes in relation to the native forest. The values of physical attributes of soil density were higher in the pasture area. The forest showed greater homogeneity of spatial data, with greater ranges.

Keywords: Soil attributes; Degraded area; Compaction; Soil physics.

Resumen

Con la sustitución de áreas forestales por cultivos agrícolas o pastos, se producen cambios en los atributos del suelo, como el aumento de la densidad del suelo, la descomposición y la pérdida de materia orgánica. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los impactos en la variabilidad espacial de los atributos de densidad del suelo, porosidad total, macro y microporosidad en un área que sufrió la alteración de bosque a pasto en Vale do Jamari, RO. El experimento fue realizado en suelos bajo ambientes naturales y alterados, encontrados en la Amazonía 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. Se estableció una matriz de muestreo en cada sistema de uso de la tierra. Las dimensiones de cada malla fueron de 50 x 100 m, haciendo un total de 66 puntos de muestreo en cada malla. En los puntos de cruce se recolectaron muestras de suelo con estructura preservada mediante anillo volumétrico a una profundidad de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m y 0,10-0,20 m. Se evaluaron los atributos físicos: densidad del suelo, macro y microporosidad y porosidad total. Los análisis estadísticos se procesaron utilizando el programa Surfer 8.0. Para la hipótesis de normalidad de los datos, se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, disponible en el programa estadístico Statística 7.0. El pasto mostró variaciones moderadas en sus atributos físicos en relación al bosque nativo. Los valores de los atributos físicos de la densidad del suelo fueron mayores en la zona de potreros. El bosque mostró mayor homogeneidad de datos espaciales, con mayor alcance.

Palabras clave: Atributos del suelo; Área degradada; Compactación; Física del suelo.

1. Introdução

A maior parte das terras de uso agropecuário no Brasil são ocupadas por pastagens, apresentando cerca de 180 milhões de hectares, sendo que mais da metade encontra-se em algum nível de degradação (EMBRAPA, 2016). Na região amazônica, as pastagens são pouco desenvolvidas e mostram redução de produtividade nos primeiros anos de cultivo, principalmente por causa do sobrepastoreio, ausência ou reposição insuficiente de nutrientes e inadequação de espécies forrageiras para as condições edafoclimáticas locais (Neves Junior et al., 2013).

No cenário atual, um dos problemas mais agravantes da pecuária na Amazônia Ocidental é a degradação das pastagens, o que aumenta os custos de produção da carne e leite, em razão da queda da capacidade de suporte das propriedades, da descapitalização dos produtores e da pressão por novas áreas por meio de desmatamentos (Cavali et al., 2014; Leite-Filho et al., 2021). Contudo, observa-se que, paralelamente ao aumento da degradação de pastagens vem ocorrendo o aumento da produção animal e da taxa de lotação (Cavali et al., 2014; Silveira et al., 2022). Neste cenário, para que o aumento de produção represente incremento da produtividade, o mesmo deve ser atrelado ao implemento de tecnologias, visando o fortalecimento de cadeias produtivas sustentáveis pelos produtores a fim de não agravar ainda mais o cenário de degradação

das pastagens.

No trabalho de Oliveira et al. (2008), os autores apontam que a pecuária é a principal força motriz do desmatamento em Rondônia e que grande parte das áreas que são desmatadas, têm seu uso iniciado com culturas anuais de subsistência e acabam sendo convertidas em pastagens. E quando não manejada adequadamente, causa mudanças drásticas nos atributos químicos e físicos do solo, podendo até degradá-lo (Costa; Drescher, 2018). Para Oliveira et al. (2015) os atributos físicos do solo são alterados em função do manejo a que estão submetidos, podendo ser agravados pelo constante uso de implementos e tráfego de máquinas utilizado no preparo convencional do solo.

As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados, provocados pelo mal-uso do solo, se expressam como aumento da compactação, redução da porosidade e da infiltração de água no solo (Nicodemo et al., 2018), assim, tem sido natural que se determine detalhadamente os resultados dessas ações. Conforme destacado por Shi et al. (2012), a compactação pode aumentar a densidade e reduzir o volume de poros no solo, o que resultaria em perda na condutividade hidráulica e redução do alongamento radicular das plantas. Ressalta-se em locais nos quais os solos são manejados inadequadamente, como as áreas pastagens, o pisoteio animal pode elevar a compactação do solo em superfície ocasionando degradação (Benevenuto et al., 2020), além de tender o aumento em profundidade do solo, que modificam a conformação dos agregados, como observado por Sartor et al. (2020).

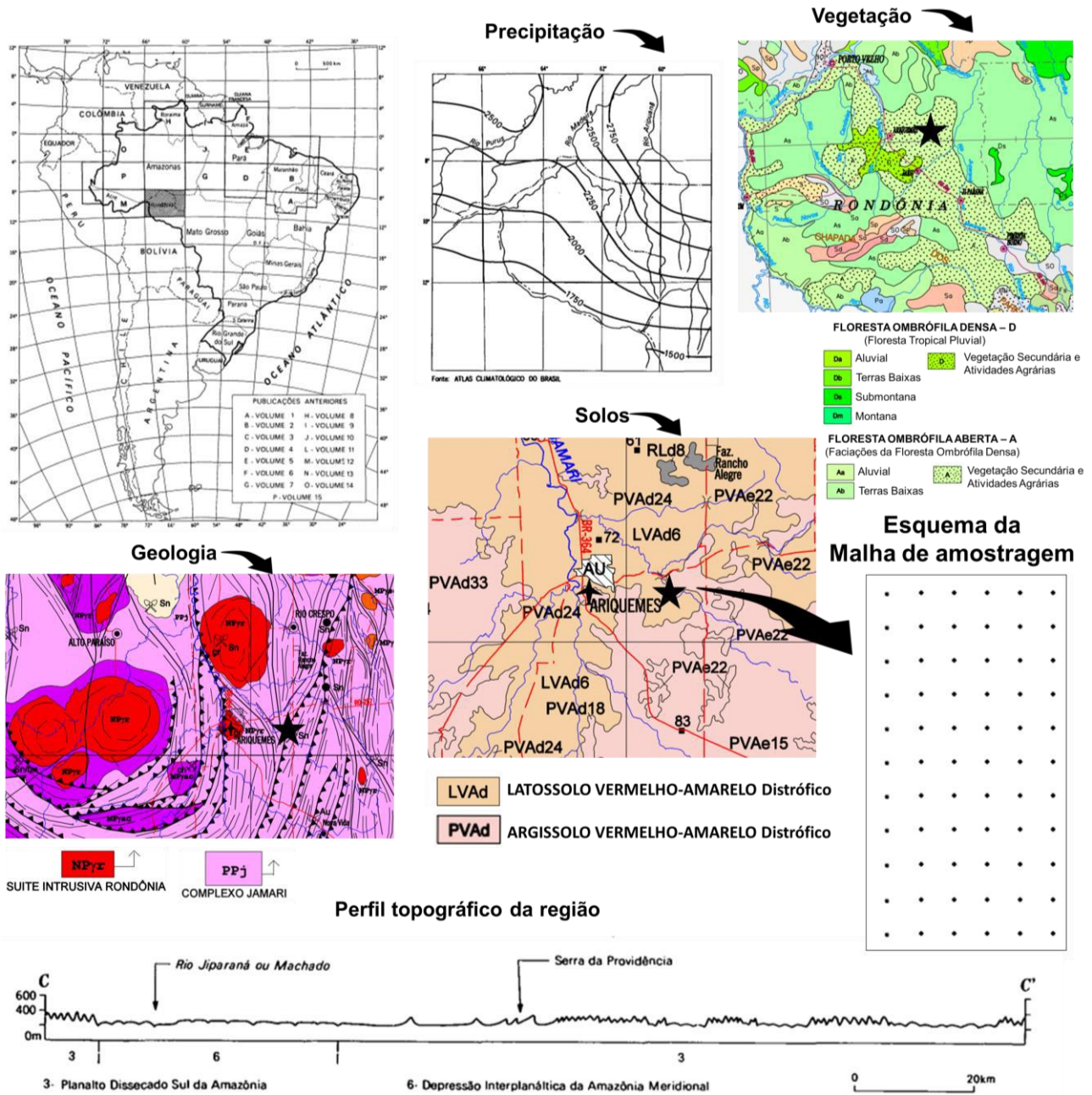
O entendimento das características dos solos, bem como, os comportamentos e mudanças que ocorrem em seu meio, por influência de seus diferentes manejos, pode ocorrer através das avaliações dos atributos com o uso de ferramentas estatísticas (Silva et al., 2020). Neste contexto, pode-se destacar as técnicas geoestatísticas, que apresentam eficiência na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades, como realizado em diversas pesquisas na Amazônia (Oliveira et al., 2015; Aquino et al., 2015, Aquino et al., 2016; Gomes et al., 2017; Oliveira et al., 2018; Cunha et al., 2019; Silva et al., 2020). Com a geoestatística é possível avaliar a dependência espacial e a utilizar para interpolar valores para locais não medidos, e com isto se produz informações para construir mapas contínuos a partir da amostragem discretizada e para estruturar amostragens em função da variabilidade espacial, conforme Grego, Oliveira e Vieira (2014). Logo destaca-se a importância em conhecer a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em unidades de mapeamentos de solo, principalmente dos sistemas de produção agrícolas, o que possibilitará maior precisão na tomada de decisão para os sistemas de uso e manejo dos solos.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos ocorridos na variabilidade espacial dos atributos de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade em área que sofreu alteração de floresta em pastagem no vale do Jamari, RO.

2. Metodologia

O experimento foi realizado em solos sob ambiente natural (floresta) e alterado (pastagem), encontrados na Amazônia Ocidental, Vale do Jamari, Estado de Rondônia. As áreas estão localizadas na porção centro – norte do estado de Rondônia (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização e perfil esquemático mostrando a vegetação, relevo, precipitação média e as classes de solos na região do vale do Jamari.



Fonte: Adaptado de Brasil (1978) e IBGE (2008); Embrapa (1998).

O clima da região se pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), segundo Köppen e tipo climático Aw1, transição entre os tipos Af e Aw, quente e úmido (chuvas do tipo monção com maiores quedas pluviométricas processadas no outono) apresentando um período seco de pequena duração, como entre 3 e 4 meses com precipitação abaixo de 60 mm. A pluviosidade está limitada pelas 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 com 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). Os dados da pesquisa foram analisados de forma qualitativa e quantitativa, visto a forma de pesquisa utilizada (Gil, 2008).

A cobertura vegetal predominam 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, que sobressaem no estrato arbóreo uniforme entre 25 e 35 m de altura e Floresta Tropical Aberta que apresentam grandes árvores muito dispersas, 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 granulitos, migmatitos, granitos, adamelitos e granodiorito cristalinas do Pré-Cambriano Médio a Superior do Complexo Xingu; 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).

Foi estabelecida uma malha amostral em cada sistema de uso do solo 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 serão georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex (DATUM SIRGAS_2000). Foram coletadas amostras de solos indeformadas, para caracterização da textura dos solos (Tabela 1) e amostras com estrutura preservada, com uso de anel volumétrico na profundidade de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. No laboratório as mesmas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel. A porosidade total (PT) foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105 °C durante 24h (Teixeira et al., 2017). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão, segundo metodologia da Embrapa (Teixiera et al., 2017). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo (Ds) foi calculada pela relação entre a massa seca em estufa a 105 °C durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo (Teixeira et al., 2017).

Tabela 1 - Caracterização das frações granulométricas dos solos em área sob pastagem e ambiente natural (floresta) em três profundidades do solo.

Profundidade (m)	Areia	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----		
Pastagem			
0,0-0,05	478,63	158,04	363,33
0,05-0,10	459,25	135,75	405,00
0,10-0,20	429,04	165,96	405,00
Floresta			
0,0-0,05	180,63	135,04	684,33
0,05-0,10	165,17	164,83	670,00
0,10-0,20	143,33	174,17	682,50

Fonte: Autores (2022).

Foi realizada análise exploratória dos dados, calculando-se média, mediana, mínima e máxima, coeficiente de variação, desvio padrão, coeficiente de assimetria, curtose e teste de normalidade. O coeficiente de variação (CV%) foi classificado com base no critério 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 1:

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

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

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). 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 (Vieira et al., 1983; Trangmar, YOST e Uehara, 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, será utilizado o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (Robertson, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, será considerado o melhor R2 (coeficiente de determinação) e coeficientes da validação cruzada (VC).

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

3. Resultados e Discussão

Os resultados da estatística descritiva para os atributos físicos do solo das áreas estudadas são apresentados no Tabela 2. A média e mediana apresentaram valores próximos tanto na área de floresta nativa quanto na pastagem, ocorrendo um pequeno distanciamento entre a média e a mediana nos atributos de macro e microporosidade da área da pastagem, conforme encontrado por Aquino et al. (2014), na avaliação da variabilidade espacial dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas.

Quanto a assimetria e a curtose na área de floresta nativa e pastagem obtiveram valores negativos e positivos distante do valor central zero, sendo que os atributos que mais se distanciaram do valor central zero foram a D_s de 0,10 - 0,20 m da pastagem, PT nas profundidades de 0,0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 e micro 0,05 - 0,10 da floresta nativa (Tabela 2). No estudo com geoestatística de Campos et al. (2013a, b), na região sul do Amazonas em área com agroflorestal, os autores encontraram valores distantes de zero de assimetria e curtose, e da mesma forma, com média e mediana dos atributos físicos. No entanto, segundo Guimarães et al. (2010), não caracterizam afastamento expressivo da normalidade, apenas evidenciam que, na natureza, não são encontradas distribuições que sejam absolutamente normais.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos físicos em área de floresta nativa e pastagem.

Estatística	Ds	Macro	Micro	PT	Ds	Macro	Micro	PT	Ds	Macro	Micro	PT
	kg dm ⁻³	---m ³ m ⁻³ ---		%	kg dm ⁻³	---m ³ m ⁻³ ---		%	kg dm ⁻³	---m ³ m ⁻³ ---		%
	----- 0,0-0,05-----				----- 0,05-0,10 -----				----- 0,10-0,20 -----			
Pastagem												
Média	1,34	22,42	26,50	48,92	1,44	20,74	25,29	46,03	1,48	19,32	26,07	45,39
Mediana	1,34	22,91	26,01	48,11	1,44	21,25	24,17	46,08	1,47	19,76	25,79	45,37
Mínimo	1,13	13,61	19,50	42,62	1,15	11,56	16,05	38,68	1,28	8,83	19,03	40,06
Máximo	1,50	33,20	33,22	57,70	1,60	28,45	33,22	54,56	1,87	29,20	35,19	49,50
DP	0,09	4,27	3,56	3,32	0,09	3,53	3,85	3,04	0,09	3,95	3,62	1,85
Var.	0,01	18,24	12,65	11,00	0,01	12,48	14,84	9,25	0,01	15,60	13,11	3,44
CV (%)	7,00	19,00	13,00	7,00	6,00	17,00	15,00	7,00	6,00	20,00	14,00	4,00
Curtose	-0,37	-0,31	-0,77	-0,29	1,38	-0,31	-0,28	0,31	5,18	0,28	-0,31	-0,09
Ass.	-0,39	-0,02	0,22	0,42	-0,80	-0,35	0,25	0,32	1,44	-0,21	0,40	-0,17
d	0,09*	0,08*	0,1*	0,11 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,09*	0,14 ^{NS}	0,08*	0,12 ^{NS}	0,07*	0,07*	0,08*
Floresta Nativa												
Média	1,06	18,53	34,57	53,10	1,13	19,19	35,61	54,80	1,12	19,52	36,16	55,67
Mediana	1,05	18,48	34,86	53,68	1,13	18,86	35,97	55,04	1,12	19,48	35,98	55,60
Mínimo	0,83	9,59	27,65	39,13	0,89	11,73	24,38	40,73	0,85	11,49	30,38	50,90
Máximo	1,26	27,46	40,82	60,54	1,33	28,40	41,14	62,32	1,28	27,22	41,97	62,44
DP	0,10	3,94	3,06	3,46	0,08	3,40	3,27	3,75	0,07	3,08	2,71	2,36
Var.	0,01	15,54	9,36	11,97	0,01	11,55	10,67	14,10	0,01	9,51	7,36	5,57
CV (%)	9,00	21,00	9,00	7,00	7,00	18,00	9,00	7,00	7,00	16,00	8,00	4,00
Curtose	-0,42	-0,37	-0,72	3,35	0,01	-0,20	3,09	3,99	1,74	0,48	-0,41	0,46
Ass.	-0,23	0,06	-0,18	-1,18	-0,07	0,18	-1,23	-1,46	-0,66	0,23	-0,25	0,38
d	0,07*	0,06*	0,09*	0,1*	0,08*	0,06*	0,1*	0,11 ^{NS}	0,11*	0,08*	0,08*	0,07*

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: Autores (2022).

A Ds por possuir estreita relação com outros atributos do solo é amplamente usada como indicador na maioria das pesquisas e converge para o fato de que, com o aumento da densidade do solo, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como o consequente aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração de raízes (Lima et al., 2007). A área de pastagem apresentou maiores valores de Ds quando comparado a floresta nativa, evidenciando que houve alteração deste atributo do solo, podendo ter sido causado pelo pisoteio dos animais (Tabela 2). Em áreas de pastagens a compactação do solo é causada principalmente pela carga animal, o aumento da densidade é induzido pela força aplicada em superfície (Kunz et al., 2013). No trabalho de Carmo et al. (2018), que realizaram um estudo na região de Rolim de Moura/RO, os autores encontraram resultados semelhantes, apresentando maior valor de Ds em área de pastagem degradadas.

Segundo Oliveira et al., (2015) a porosidade total é importante indicador de qualidade do solo, uma vez que maior porosidade reflete em condições que o solo não se alterou com a pressão exercida pelo tráfego e pelo revolvimento. O uso inadequado do solo revolvendo-o excessivamente e a ausência de práticas conservacionistas, podem provocar o aumento da densidade, e reduzir a porosidade total e macroporosidade (Soares et al., 2016). Os resultados de PT foram maiores na área de floresta nativa quanto comparado os dois sistemas, independente da camada (Tabela 2). De acordo com Giarola et al. (2007) a redução do volume total de poros nas áreas de pastagens pode ser um reflexo da redução da macroporosidade, uma vez que a microporosidade não parece ser influenciada diretamente pelo manejo do solo.

Os valores de macroporosidade foram maiores na área de floresta nativa exceto na camada de 0,10 - 0,20 m (Tabela 2). Segundo Neves Júnior et al., (2013) a macroporosidade é influenciada pelo sistema de manejo, e o aumento da densidade provoca a redução. Em seu trabalho, Caetano et al., (2013) infere que pastagens com elevada degradação, sem correção e

fertilização, mantidas em pastejo contínuo tendem a reduzir o número de macroporos.

A área de pastagem apresentou maiores valores de microporosidade do que a floresta nativa nas três camadas avaliadas (Tabela 2). Esses resultados se confirmam com os encontrados por Silva et al. (2014) em que avaliando os atributos físicos em área de neem (*Azadirachta indica*), área com capim elefante e área com braquiária, observaram que a microporosidade foi pouco influenciada pela cobertura vegetal e manejo aplicado. Segundo Mazurana et al. (2013) a microporosidade sofre pouca influência da cobertura vegetal e tráfego sobre o solo, mas sim por características intrínsecas do solo, como a textura e o teor de matéria orgânica. A quantidade de microporos é um atributo de extrema importância presente nos solos, pois esses são responsáveis pela retenção e armazenamento de água. No trabalho de Aquino et al. (2015), que aplicaram análises geoestatísticas na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas, os autores encontraram maiores valores de microporosidade em área de pastagem, maiores valores de PT macroporosidade em área de floresta nativa, concordando com os resultados encontrados neste estudo (Tabela 2).

Os atributos físicos apresentaram normalidade na sua maioria, sendo exceção PT na pastagem (0,0-0,05 m) e na floresta nativa (0,10-0,20 m), Ds e microporosidade (0,05-0,10 m) na pastagem. Apesar de Isaaks e Srivastava (1989) afirmar que a normalidade não ser exigência na geoestatística, Crissie (1991) destaca que essa permite observar maior precisão das estimativas da krigagem, por meio de seus valores médios.

O coeficiente de variação (CV) da floresta nativa e pastagem tendem a um mesmo comportamento de variabilidade segundo o critério de classificação de Warrick e Nielsen (1980), ocorrendo a variação de alguns atributos da pastagem quando comparado com a floresta nativa. Os atributos físicos Ds e PT das áreas foram classificados como baixos, assim como também a microporosidade da floresta nativa nas três profundidades, e os demais atributos de ambas as áreas apresentaram CV moderado, indicando que nesses locais acontece moderada heterogeneidade. A medida estatística CV possibilita comparar a variabilidade entre amostras de variáveis, porém não permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial (Camargo et al., (2008).

Com base na estatística descritiva, é possível verificar variações nos atributos físicos em solo de pastagem em relação ao da floresta nativa, tanto nos valores da média, mediana, assimetria e curtose quando apresentam distanciamentos maiores que o da floresta nativa quanto no coeficiente de variação, em que é possível verificar maiores variações em relação à floresta nativa, conforme encontrado por Aquino et al. (2014). Contudo, para Oliveira et al. (2015), a medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial. Sendo assim, o uso da geoestatística para avaliar a variabilidade dos atributos pela análise da dependência espacial vem facilitar o entendimento do padrão de ocorrência desses atributos. Neste sentido, os atributos estudados foram submetidos a ajustes de semivariogramas, com objetivo de avaliar sua dependência espacial, o que evidenciou que os ambientes apresentaram variabilidade no espaço dos atributos estudados (Tabela 3).

As duas áreas estudadas apresentaram ajustes ao modelo de semivariograma esférico, constatando com Lima et al. (2010) e Neves Neto et al. (2013), Aquino et al. (2014), Oliveira et al. (2015) e Lima et al. (2022), que apontaram os modelos esféricos e exponenciais como os mais frequentes aos atributos do solo. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância, e Grego e Vieira (2005), afirmaram que este modelo é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo.

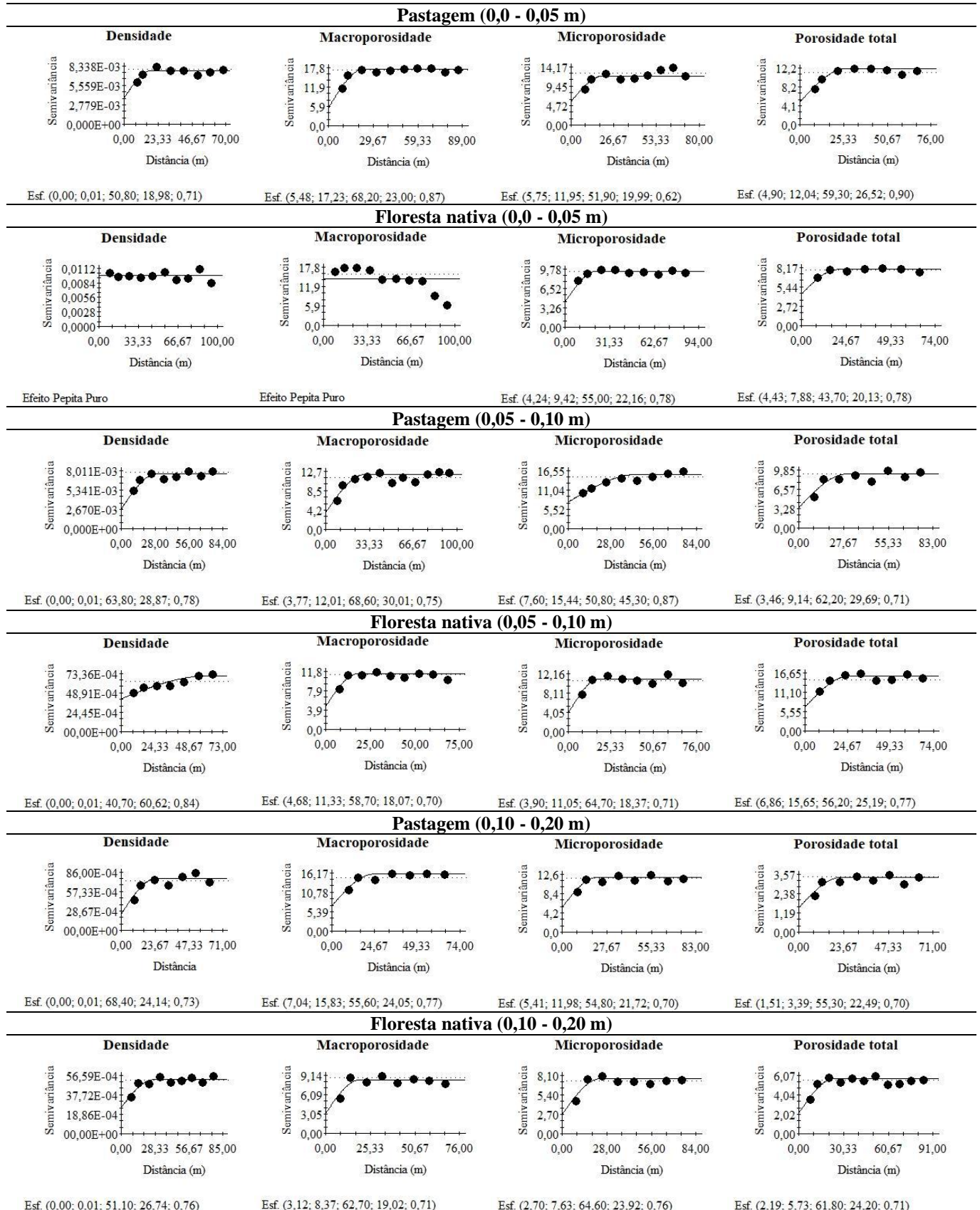
Tabela 3 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos do solo, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em área de pastagem e floresta nativa.

Atributos	Modelo	EP	Patamar	GDE	Alcance (m)	R ²
Pastagem						
0,0 - 0,05 m						
Densidade do solo	Esf.	0,00	0,01	50,80	18,98	0,71
Macroporosidade	Esf.	5,48	17,23	68,20	23,00	0,87
Microporosidade	Esf.	5,75	11,95	51,90	19,99	0,62
Porosidade total	Esf.	4,90	12,04	59,30	26,52	0,90
0,05 - 0,10 m						
Densidade do solo	Esf.	0,00	0,01	63,80	28,87	0,78
Macroporosidade	Esf.	3,77	12,01	68,60	30,01	0,75
Microporosidade	Esf.	7,60	15,44	50,80	45,30	0,87
Porosidade total	Esf.	3,46	9,14	62,20	29,69	0,71
0,10 - 0,20 m						
Densidade do solo	Esf.	0,00	0,01	68,40	24,14	0,73
Macroporosidade	Esf.	7,04	15,83	55,60	24,05	0,77
Microporosidade	Esf.	5,41	11,98	54,80	21,72	0,70
Porosidade total	Esf.	1,51	3,39	55,30	22,49	0,70
Floresta Nativa						
0,0 - 0,05 m						
Densidade do solo	EPP	-	-	-	-	-
Macroporosidade	EPP	-	-	-	-	-
Microporosidade	Esf.	4,24	9,42	55,00	22,16	0,78
Porosidade total	Esf.	4,43	7,88	43,70	20,13	0,78
0,05 - 0,10 m						
Densidade do solo	Esf.	0,00	0,01	40,70	60,62	0,84
Macroporosidade	Esf.	4,68	11,33	58,70	18,07	0,70
Microporosidade	Esf.	3,90	11,05	64,70	18,37	0,71
Porosidade total	Esf.	6,86	15,65	56,20	25,19	0,77
0,10 - 0,20 m						
Densidade do solo	Esf.	0,00	0,01	51,10	26,74	0,76
Macroporosidade	Esf.	3,12	8,37	62,70	19,02	0,71
Microporosidade	Esf.	2,70	7,63	64,60	23,92	0,76
Porosidade total	Esf.	2,19	5,73	61,80	24,20	0,71

EPP: Efeito Pepita Puro; Esf.: Esférico; EP: Efeito Pepita; GDE: Grau de dependência espacial. Fonte: Autores (2022).

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas podem ser observados no Tabela 3, assim como seus pertencentes semivariogramas (Figura 2). Através da análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas, nota-se que a maioria dos atributos apresentaram dependência espacial, ou seja, os semivariogramas demonstram a maior parte da variância dos dados avaliados. Sendo que apenas a densidade e a microporosidade do solo na profundidade de 0,00–0,05 m não houve dependência espacial, apresentando-se aleatoriamente distribuída na área de estudo, com a ausência de uma estrutura espacial definida (Ortiz et al., 2006; Motomiya et al., 2011).

Figura 2 - Parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos físicos dos solos nas profundidades de 0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R2).



Fonte: Autores (2022).

Verificou-se que a área da pastagem por mais que esteja sujeita a sofrer com as pressões de fatores extrínsecos como pisoteio animal, tráfego de máquinas, chuva intensa, em razão da sua exposição, ainda assim, teve comportamento muito próximo ao da floresta nativa, onde os atributos se apresentaram com grau de dependência espacial (GDE) moderada variando entre 40,70 e 68,60%. Em seu estudo, Lima et al. (2022) encontrou na área de floresta na profundidade de 0,0 – 0,10 m, GDE forte para densidade aparente do solo e carbono orgânico total (COT), quanto aos demais atributos físicos do solo mostraram GDE moderados, já na área de braquiária, a uma profundidade de 0,0 – 0,10 m a variação relacionados a textura, agregados e COT apresentaram forte GDE, por outro lado as variáveis relacionadas à compactação e porosidade apresentaram GDE moderado.

Os valores dos coeficientes de regressão (R^2) dos semivariogramas em grande maioria foram superiores a 0,70, destacando a porosidade total da pastagem na profundidade de 0,0 – 0,05 m apresentando o maior valor de R^2 com 0,90 e a microporosidade também de pastagem de 0,0 – 0,05 com o menor valor de R^2 de 0,62.

Os atributos apresentaram diferentes valores de alcance, sendo a D_s na profundidade de 0,05–0,10 m na floresta nativa a que apresentou maior alcance de 60,62 m, enquanto a D_s da área da pastagem na profundidade semelhante obteve alcance de 28,87 m (Figura 2). Os demais valores de alcance variaram entre 18,07 e 45,30 m. O alcance é uma importante variável no planejamento e na avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de procedimentos de amostragem (Mcbratney; Webster, 1986).

É notório que os alcances ajustados aos modelos, foram maiores nas camadas subsuperficiais, o que demonstram a interferência do manejo da variabilidade espacial dos atributos físicos dos solos. Além disso, os alcances ajustados foram superiores ao estabelecido na malha amostral, o que se pressupõe que, a amostragem dos solos para essas condições poderá ser menos intensiva, podendo-se coletar amostras com espaçamentos superiores ao estabelecido neste estudo. Por outro lado, os alcances dos semivariogramas ajustados a área de pastagem, apresentaram menores valores, demonstrando maior heterogeneidade e variabilidade espacial. Neste contexto, este trabalho servirá de base para a estimativa de densidade amostral mínima para estabelecer a variabilidade espacial de atributos dos solos, conforme realizado por Aquino et al. (2014) e Oliveira et al. (2015) em estudos realizados na região sul do Amazonas, RO.

Estas informações podem viabilizar o trabalho em campo nestes ambientes amazônicos, uma vez que vários estudos de amostragem têm sido conduzidos visando reduzir a variabilidade das características do solo (Aquino et al., 2014, 2015a, 2015b; Oliveira et al., 2014, 2015). Entretanto, os trabalhos normalmente, não consideram a variabilidade das amostras simples na composição da amostra composta e a forma como as glebas são definidas, o que poderá ser fator de novos estudos na região.

4. Conclusão

Os atributos físicos de densidade do solo foram maiores na área da pastagem comparando-se a floresta nativa nas três camadas avaliadas. Já a porosidade total foi maior na área de floresta nativa.

A pastagem apresentou moderadas variações nos seus atributos físicos em relação a floresta nativa, com predominância de classificação do coeficiente de variação como moderado.

A floresta apresentou maior homogeneidade dos dados espaciais, com maiores alcances, quando comparado com a pastagem, demonstrando que o uso e manejo alteraram a variabilidade espacial dos atributos físicos dos solos.

As informações deste estudo podem viabilizar o trabalho em campo nestes ambientes amazônicos, uma vez que, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos dos solos pode gerar protocolos de amostragem composta e a forma como as malhas amostrais são definidas, o que poderá ser fator de novos estudos na região.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - *Campus Ariquemes*, RO (IFRO), pelo espaço para realização do trabalho, e a Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação (PROPESP - IFRO), pela concessão das bolsas de estudo.

Referências

- Alencar, N. M., Melo, J. C., Santos, A. C., Cunha, O. F. R., & Paula Neto, J. J. (2016). Distribuição espacial das propriedades do solo, produção do capim marandu com a intensidade de pastejo. *Revista Engenharia na Agricultura-Reveng*, Viçosa, 24(4), 338-349.
- Aquino, R. E. de; Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Oliveira, I. A.; Franciscan, U.; Silva, D. M. P., & Cunha, J. M. (2016). Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brazil. *Bioscience Journal*, 32(1), 61-72.
- Aquino, R. E. D., Campos, M. C. C., Marques Júnior, J., Oliveira, I. A., Mantovaneli, B. C., & Soares, M. D. R. (2014). Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 38, 397-406.
- Aquino, R. E., Campos, M. C. C., Marques, J. J., Oliveira, I. A., Teixeira, D. B., & Cunha, J. M. (2015). Use of scaled semivariograms in sample planning of soil physical attributes in southern Amazonas. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 39(1), 21-30.
- Benevenuto, P.A.N., Morais, E.G., Souza, A., Vasques, I.C.F., Cardoso, D.P., Severiando, E.C., Homem, B.G.C., Casagrande, D.R. & Silva, B.M. (2020). Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. *Ecological Indicators*, 117(1): e 106647.
- BRASIL. (1978). Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL, folha SC. 20, Porto Velho.
- Calvete, F. J. S., & Ramirez, J. C. (1996). *Geoestadística: aplicaciones a la hidrogeología subterránea*. Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria,
- Cavali, J., Ferreira, E., Sales, M. F. L., & Porto, M. O. (2014) *Pastagens na Amazônia Ocidental: cenário e manejo*. Universidade Federal de Rondônia: Embrapa Acre, 195-221.
- Camargo, L. A., Marques Júnior, J., Pereira, G. T., & Horvat, R. A. (2008). Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo: II-correlação espacial entre mineralogia e agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 2279-2288.
- Campos, M. C., De Aquino, R. E., Bergamim, A. C., & de Oliveira, I. A. (2013b). Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8(2), 305-310.
- Campos, M. C. C., Soares, M. D. R., Oliveira, I. A., Santos, L. A. C., & Aquino, R. E. (2013a). Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amozonas state, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 56(2), 149-159.
- Carmo, M., Cunico, J., Santos, M., Silva, P., & Siqueira, M. (2018). Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na Amazônia ocidental. *Agrarian Academy*, 5(09).
- Costa, L. M. D., & Drescher, M. S. (2018). Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of a clayey Oxisol. *Revista Ceres*, 65, 443-449.
- Cressie, N. (1991). *Statistics for spatial data*. John Wiley, 920p.
- de Lima, A. F. L., Campos, M. C. C., Enck, B. F., da Silva Simões, W., de Araújo, R. M., Dos Santos, L. A. C., & da Cunha, J. M. (2022). Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(1), 1-27.
- Embrapa - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (2016). *Pecuária mais eficiente pouparia atmosfera de 30 milhões de toneladas de CO2 por ano*. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7545578/pecuariamais-eficiente-pouparia-atmosfera-de-30-milhoesde-toneladas-de-co2-por-ano>>. Acesso em: 07 de ago. 2022.
- Gomes, R. P., Campos, M. C. C., Soares, M. D. R., Silva, D. M. P., Cunha, J. M., Franciscan, U., ... & Brito, W. B. M. (2017). Spatial variability of aggregates and organic carbon under three different uses of Indian Black Earth in southern Amazonas. *Bioscience Journal*, 33(6), 1513-1522.
- Guimarães, R. M., Gonçalves, A. C., Tormena, C. A., Folegatti, M. V., & Blainski, É. (2010). Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado. *Engenharia Agrícola*, 30, 657-669.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford Univ, 279-307.
- Kunz, M., Gonçalves, A. D. M. D. A., Reichert, J. M., Guimarães, R. M. L., Reinert, D. J., & Rodrigues, M. F. (2013). Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1699-1708.
- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., Abrahão, G. M., & Börner, J. (2021). Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*, 12(1), 1-7.
- Lima, C. G. D. R., Carvalho, M. D. P., Mello, L. M. M. D., & Lima, R. C. (2007). Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 31, 1233-1244.

- Lima, J. S. D. S., Souza, G. S. D., & Silva, S. A. (2010). Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. *Revista Árvore*, 34, 127-136.
- Lumbreras, J. F.; Silva, L. M. da; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Wadt, P. G. S.; Pereira, M. G.; Delarmelinda-Honoré, E. A.; Burity, K. T. L. (2019). Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. Embrapa Brasília, DF, 274.
- Mazurana, M., Fink, J. R., Silveira, V. H. D., Levien, R., Zulpo, L., & Brezolin, D. (2013). Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1185-1195.
- McBratney, A. B., & Webster, R. (1986). Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, 37(4), 617-639.
- Motomiya, A. V., Molin, J. P., Motomiya, W. R., & Vieira, S. R. (2011). Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 996-1003.
- Neves Junior, A. F., Silva, A. P. D., Noronha, N. C., & Cerri, C. C. (2013). Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 232-241.
- Neves Neto, D. N., Santos, A. C. D., Santos, P. M., Melo, J. C., & Santos, J. S. (2013). Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 995-1004.
- Nicodemo, M. L. F., Borges, W. L. B., & de Souza, I. M. D. (2018). Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(2), 1-7.
- 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. (2015). Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 668-681.
- Oliveira, I. A. D., Campos, M. C. C., Freitas, L. D., & Soares, M. D. R. (2015). Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta amazônica*, 45, 1-12.
- 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. (2015). Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 668-681.
- Oliveira, S. J. M., Valentim, J. F., Barioni, L. G., Abreu, U. G., & Rostand, A. R. (2008) Pecuária e desmatamento: mudanças no uso do solo em Rondônia. In: *Congresso Da Sociedade Brasileira De Economia, Administração E Sociologia Rural*, 46, 2008, Rio Branco. Anais... Rio Branco: SOBER.
- Oliveira, S. M. D., Lima, P. R. De., & Verburg, J. E. E. (2015). Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(3), 280-285.
- Ortiz, J. L., Vettorazzi, C. A., Couto, H. T. Z. do, & Gonçalves, J. L. de M. (2006). Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. *Scientia Forestalis*, (72), 67-79.
- Robertson, G. P. (1998). GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: *Gamma Design Software*.
- Sartor, L.R., Romão, J., Silva, V.P., Cassol, L.C. & Brun, E.J. (2020). Resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação. *Ciência Florestal*, 30(1): 231-241.
- SHI, X. H., et al. Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario. *Soil & Tillage Research*, v.120, p.1-7, 2012.
- Silva, L. I., Campos, M. C. C., Brito, W. B. M., Cunha, J. M., Lima, A. F. L., Santos, L. A. C. dos, & Hassane, A. L. (2021). Spatial variability of soil erodibility in pastures and forest areas in the municipality of Porto Velho, Rondônia. *Revista Ambiente e Água*, 16, 1-23.
- Silva, R. F. da., Albuquerque, A. J., & Costa, A. da. (2014). Crescimento inicial da cultura da soja em latossolo bruno com diferentes graus descompactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(6), 1731-1739.
- Silveira, J. G., Oliveira Neto, S. N. O., Canto, A. C. B., Leite, F. F. G. D., Cordeiro, F. R., Assad, L. T., Silva, G. C. C., Marques, R. O., Dalarme, M. S. L., Ferreira, I. G. M., Conceição, M. C. G., & Rodrigues, R. A. R. (2022). Land use, land cover change and sustainable intensification of agriculture and livestock in the Amazon and the atlantic forest in Brazil. *Sustainability*, 14, 1-23.
- Soares, R. D. M., Campos, C. C. M., Oliveira, A. I., Cunha, M. J., Santos, C. A. L., Fonseca, S. J., & Souza, M. Z. de. (2016). Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso na região de Manicoré, AM. *Revista de Ciências Agrárias*, 59(1), 9-15.
- Souza, Z. M., Marques Júnior, J., & Pereira, G. T. (2009). Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 40, 48-56.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). *Manual de métodos de análise de solo*. 573.
- Trangmar, B. B., Yost, R. S., & Uehara, G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, New York, 38(1), 54-94.
- Vieira, S. R. J. L., Hatfield, J., Nielsen, D., & Biggar, J. (1983). Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51(3), 1-75.