



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia

Campus Ariquemes

Coordenação do Curso Bacharelado em Agronomia

RODRIGO MEDEIROS DA SILVA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ATRIBUTOS DO
SOLO SOB CONSÓRCIO DE GOIABA COM PASTAGEM NO VALE DO JAMARI,
RO**

ARIQUEMES - RO

2026

RODRIGO MEDEIROS DA SILVA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ATRIBUTOS DO
SOLO SOB CONSÓRCIO DE GOIABA COM PASTAGEM NO VALE DO JAMARI,
RO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso de Agronomia, sob a orientação do professor Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

ARIQUEMES - RO

2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Silva, Rodrigo Medeiros da.
Correlação espacial entre índices de vegetação e atributos do solo
sob consórcio de goiaba com pastagem no Vale do Jamari, RO /
Rodrigo Medeiros da Silva. - Ariquemes, 2026.
36 f. : il.

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, 2026.

1. Manejo do solo. 2. Geoprocessamento. 3. Geoestatística. I.
Oliveira, Ivanildo Amorim de (orient.). II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

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

RODRIGO MEDEIROS DA SILVA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ATRIBUTOS DO
SOLO SOB CONSÓRCIO DE GOIABA COM PASTAGEM NO VALE DO JAMARI,
RO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso de Agronomia, sob a orientação do professor Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira

Aprovado em: 26/06/2026 pela banca examinadora.

Membro da Banca

Membro da Banca

Orientador

CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ATRIBUTOS DO SOLO SOB CONSÓRCIO DE GOIABA COM PASTAGEM NO VALE DO JAMARI, RO

RESUMO: A variabilidade espacial dos atributos do solo está diretamente relacionada ao manejo adotado, podendo influenciar o desenvolvimento das culturas e a qualidade do sistema produtivo. O uso de técnicas de agricultura de precisão, associadas ao sensoriamento remoto e à geoestatística, tem se mostrado eficiente na avaliação dessas variações. O objetivo do trabalho foi analisar a correlação espacial entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), estoque de carbono, fósforo disponível, densidade e textura do solo sob consórcio de goiaba com pastagem na região amazônica. O estudo foi realizado em área sob sistema de consórcio de pastagem e goiaba, onde foi estabelecida uma malha amostral de 75 m x 150 m com espaçamento regular de 15 m, totalizando 50 pontos amostrais. Os pontos foram georreferenciados com equipamento de GPS, sendo coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas nas profundidades de 0,0–0,10 m e 0,10–0,20 m. Nas amostras, foram determinados a granulometria, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO), estoque de carbono orgânico total (ECOT) e fósforo disponível (P). Os dados de vegetação foram obtidos por meio de sensor multiespectral acoplado ao drone DJI Mavic 3, sendo utilizado o NDVI. As análises foram avaliadas por meio de estatística descritiva e geoestatística. Os resultados indicaram que os atributos do solo apresentaram dependência espacial de moderada a forte, com valores de alcance superiores ao espaçamento da malha, evidenciando adequação do delineamento amostral. Observou-se redução dos teores de COT, MO e ECOT com a profundidade, enquanto o fósforo apresentou maior variabilidade espacial. Os mapas de krigagem evidenciaram relações entre os atributos, destacando que áreas com maiores teores de argila apresentaram maiores valores de ECOT e menores valores de Ds. Ao relacionar os atributos do solo com o NDVI, não foi observada correspondência espacial evidente entre as áreas com maiores teores de COT, MO e ECOT e os maiores valores do índice, indicando que o vigor vegetativo não esteve diretamente relacionado aos atributos de carbono do solo. O NDVI apresentou elevada variabilidade espacial, com maiores valores associados às copas das goiabeiras e, em alguns pontos, coincidiu com áreas de maior Ds e teor de areia, indicando que o vigor vegetativo não depende exclusivamente das condições físicas do solo. A utilização de ferramentas de agricultura de precisão permitiu identificar a variabilidade espacial dos atributos e do NDVI, auxiliando na delimitação de zonas de manejo e na tomada de decisão no sistema produtivo.

Palavras-chave: manejo do solo; geoprocessamento; geoestatística.

SPATIAL CORRELATION BETWEEN VEGETATION INDICES AND SOIL ATTRIBUTES UNDER GUAVA-PASTURE INTERCROPPING IN THE JAMARI VALLEY, RO

ABSTRACT: The spatial variability of soil attributes is directly related to the management system adopted and may influence crop development and the quality of the production system. The use of precision agriculture techniques, associated with remote sensing and geostatistics, has proven efficient in evaluating these variations. The objective of this study was to analyze the spatial correlation between the normalized difference vegetation index (NDVI), carbon stock, available phosphorus, soil bulk density, and soil texture under a guava-pasture intercropping system in the Amazon region. The study was conducted in an area under a pasture and guava intercropping system, where a 75 m × 150 m sampling grid was established, with regular 15 m spacing, totaling 50 sampling points. The points were georeferenced using GPS equipment, and disturbed and undisturbed soil samples were collected at depths of 0.0–0.10 m and 0.10–0.20 m. Soil granulometry, soil bulk density (Ds), total organic carbon (TOC), organic matter (OM), total organic carbon stock (TOCS), and available phosphorus (P) were determined in the samples. Vegetation data were obtained using a multispectral sensor coupled to a DJI Mavic 3 drone, and NDVI was used. The data were evaluated through descriptive statistics and geostatistical analysis. The results indicated that the soil attributes showed moderate to strong spatial dependence, with range values greater than the sampling grid spacing, demonstrating the adequacy of the sampling design. A reduction in TOC, OM, and TOCS contents with increasing depth was observed, while phosphorus showed greater spatial variability. The kriging maps revealed relationships among the attributes, highlighting that areas with higher clay contents showed higher carbon stock values and lower soil bulk density values. When relating soil attributes to NDVI, no evident spatial correspondence was observed between areas with higher TOC, OM, and TOCS contents and the highest NDVI values, indicating that vegetative vigor was not directly related to soil carbon attributes. NDVI showed high spatial variability, with higher values associated with guava tree canopies and, in some points, coinciding with areas of higher soil bulk density and sand content, indicating that vegetative vigor does not depend exclusively on soil physical conditions. The use of precision agriculture tools allowed the identification of the spatial variability of soil attributes and NDVI, contributing to the delimitation of management zones and decision-making in the production system.

Keywords: soil management; geoprocessing; geostatistic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 METODOLOGIA.....	10
2.1 Localização da área de pesquisa.....	10
2.2 Metodologia de campo.....	11
2.3 Análises laboratoriais.....	11
2.3.1 Análises do solo.....	11
2.4 Forma de análise dos resultados.....	12
2.4.1 Análises geoestatísticas.....	12
2.4.2 Análises dos parâmetros biofísicos da cultura – índice de vegetação.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	15
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A ocupação dos solos da Amazônia vem provocando a substituição de áreas de florestas por agricultura, colaborando para alterações desses solos. Segundo Brookes (1995), as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são suscetíveis a variações temporais e espaciais, que podem impactar os sistemas de produção, sendo que um manejo adequado pode contribuir para a melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade das culturas. No trabalho de Silva e Lima (2013), ao determinarem a distribuição dos atributos físicos do solo e avaliar sua relação espacial com a produtividade do café arábica, observaram que a produtividade foi maior em áreas com proporção mais equilibrada entre areia e argila, destacando a importância da redução da densidade do solo. Em outro estudo, Marin *et al.* (2019) verificaram que áreas com maiores teores de areia apresentaram menor vigor vegetativo, evidenciando a influência dos atributos do solo no desenvolvimento das culturas.

A exploração agrícola associada à mudança de manejo dos solos traz consequências nos atributos do solo, sendo que alguns são classificados como alteráveis, como densidade do solo, resistência à penetração, permeabilidade, aeração, agregação, porosidade e umidade (Stefanoski *et al.*, 2013). Métodos convencionais, que envolvem maior revolvimento do solo, como aração e gradagem, contribuem para a intensificação da erosão e compactação (Leite *et al.*, 2003; Araújo *et al.*, 2004), enquanto a textura é considerada uma das propriedades mais estáveis (Araújo *et al.*, 2012). Estudos realizados por Souza e Alves (2003) indicam que sistemas com menor revolvimento favorecem o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica, enquanto sistemas com maior revolvimento apresentam efeito contrário, comportamento também observado por Garcia *et al.* (2014), que verificaram melhores condições químicas do solo em áreas com vegetação nativa quando comparadas a sistemas com maior intervenção.

Dentre os métodos de cultivo, os sistemas de consórcio entre plantas, que se caracteriza pelo cultivo de duas ou mais culturas em uma mesma área, têm se destacado por possibilitarem melhor aproveitamento da área e maior diversificação da produção. Nesse contexto, a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) surge como uma estratégia de manejo que contribui para a recuperação da capacidade produtiva do solo e para a intensificação sustentável da produção (Zonta *et al.*, 2016). A sombra natural das árvores é considerada uma das formas mais adequadas de sombreamento

em sistemas de produção a pasto, pois reduz o estresse térmico e melhora o bem-estar animal. Além disso, a presença de árvores contribui para a conservação do solo, reduzindo processos erosivos, melhorando o aproveitamento da água da chuva (Melo; Zoby, 2004). Árvores frutíferas, além de produzirem sombra, também produzem frutos, que incrementam a renda da propriedade rural, pela obtenção de, no mínimo, mais um produto comercializável (Giustina; Carnevalli; Romano, 2019). Nesse contexto, a goiabeira (*Psidium guajava* L.) pode ser inserida no sistema integrado como componente arbóreo frutífero, contribuindo tanto para a diversificação da produção quanto para a melhoria do microclima da área. A espécie apresenta porte arbóreo, podendo atingir de 3 a 10 m de altura, além de possuir capacidade de formação de copa (Barbosa; Lima, 2010). Dessa forma, a goiabeira apresenta um grande potencial para ser usada em sistemas integrados, com uma fase inicial rápida e uma boa arquitetura de dossel, proporcionando sombra aos animais e crescimento adequado de plantas sob seu dossel (Giustina; Carnevalli; Romano, 2019).

Nesse sentido, para que sistemas consorciados e integrados expressem seu potencial produtivo e contribuam efetivamente para a sustentabilidade da propriedade, torna-se necessário compreender e manejar adequadamente a fertilidade do solo, especialmente em relação aos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, como o fósforo (P). O P é considerado um macronutriente primário essencial ao desenvolvimento das plantas cultivadas. Embora participe de processos importantes, como o metabolismo vegetal, o crescimento radicular e a formação de frutos e sementes, sua disponibilidade no solo é geralmente baixa, principalmente em regiões tropicais. Isso ocorre devido à lenta difusão do P, à sua presença em formas orgânicas e à adsorção aos colóides do solo, especialmente em solos altamente intemperizados, ricos em ferro (Fe) e alumínio (Al), o que reduz sua eficiência nutricional para as plantas (Liu *et al.*, 2014; Costa, 2026).

Com a crescente necessidade de produzir mais com maior eficiência, sem a abertura de novas áreas, a busca por práticas mais eficientes de manejo tem aumentado (Trevisan *et al.*, 2015). Nesse contexto, a geoestatística se destaca como ferramenta para análise da variabilidade espacial dos atributos do solo, sendo aplicada na Ciência do Solo e auxiliando na interpretação dos resultados (Burgess; Webster, 1980; Vieira *et al.*, 1991). Além da variabilidade dos solos, é importante avaliar o desenvolvimento das culturas por meio do vigor vegetativo, que pode ser determinado via sensoriamento remoto, utilizando índices de vegetação gerados a

partir de imagens multiespectrais (Araújo *et al.*, 2005). Esses índices permitem maior detalhamento no mapeamento da variabilidade espacial e na identificação do uso e cobertura do solo (Grego *et al.*, 2015).

Os índices de vegetação são obtidos a partir da relação entre diferentes comprimentos de onda nas regiões do espectro eletromagnético, permitindo representar características da vegetação (Wójtowicz *et al.*, 2016), sendo possível estabelecer correlações espaciais com os atributos do solo. Dentre os índices mais utilizados, destaca-se o NDVI, empregado na avaliação do vigor vegetativo e sua relação com parâmetros como biomassa e produtividade (Galvanin *et al.*, 2014). Trevisan *et al.* (2015) observaram que atributos do solo apresentaram correlação com o NDVI, reforçando sua aplicabilidade em estudos de variabilidade espacial, enquanto Marin *et al.* (2019) identificaram correlação positiva entre índices de vegetação e atributos como matéria orgânica, silte e argila.

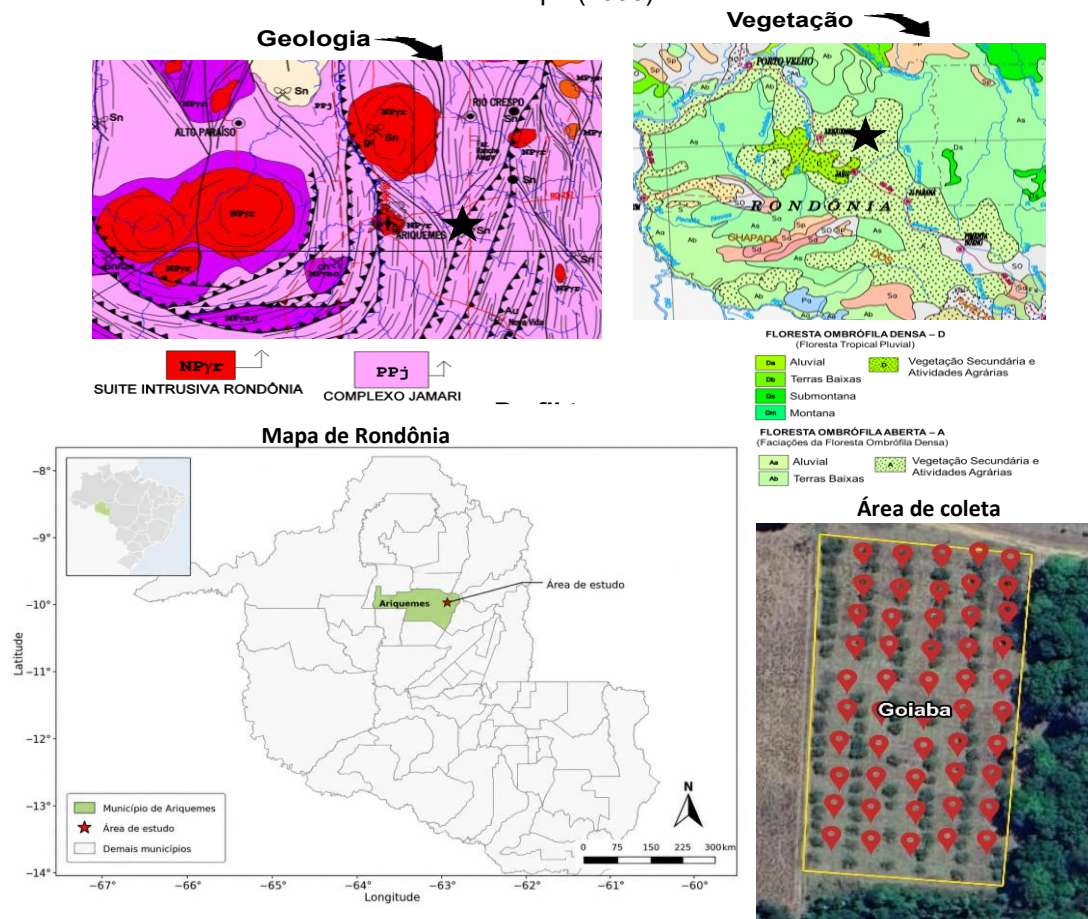
Sabendo da eficiência da aplicação desses métodos, a geoestatística e o sensoriamento remoto tornam-se ferramentas importantes, permitindo o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e a caracterização do desenvolvimento das culturas, gerando informações que auxiliam na tomada de decisão quanto às práticas de manejo mais adequadas, destacando a importância deste trabalho, considerando a escassez de estudos dessa magnitude na região. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi analisar a correlação espacial entre índices de vegetação e atributos do solo sob consórcio de goiaba com pastagem na região do Vale do Jamari, RO, com o uso de ferramentas de sensoriamento remoto e geoestatística.

2 METODOLOGIA

2.1 Localização da área de pesquisa

Foi identificada área sob uso agrícola (consórcio de goiaba com pastagem), 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. O município está localizado na porção centro – norte do estado de Rondônia, com o clima, segundo classificação de Köppen, pertencente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), e tipo climático Aw, 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 temperatura varia em torno de 25,62°C, a precipitação pluvial média anual é de 2.290 mm, e a umidade relativa do ar apresenta uma média de 81,02% (Carvalho *et al.*, 2016). O solo da região é classificado, em predominância, como Latossolos e Argissolo (Embrapa, 1998) (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Rondônia e perfil esquemático mostrando a vegetação, classes de solos na região do vale do Jamari e a área coletada. Fonte: Adaptado de BRASIL (1978) e IBGE (2008); Embrapa (1998).



Fonte: elaborado a partir da malha municipal do IBGE (2025).

2.2 Metodologia de campo

Foi utilizada área sob uso agrícola (consórcio de goiaba com pastagem) e o solo foi classificado segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo - SiBCS (Santos *et al.*, 2025), como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. A área cultivada com goiaba (*Psidium guajava* L), e o plantio possui espaçamento de 7 x 7 m (fora do recomendado, pois foi realizado para facilitar o acesso de implementos agrícolas entre todas as linhas de plantio). No ano de 2020 foram realizadas adubação, calagem e poda de produção. Nos anos subsequentes, de 2021 a 2025 foram executadas somente as práticas culturais como, poda de produção e a roçagem das gramíneas plantadas nas entrelinhas, sendo essa uma atividade frequentemente realizada, além do pastoreio com bovinos, de forma recorrente. A colheita é realizada com auxílio de trator agrícola e carretinha de arraste, para retirada dos frutos. Está em cultivo efetivo a mais de 16 anos.

Após identificação da área, foi estabelecida uma malha amostral de 75 m x 150 m com espaçamentos de coleta regulares de 15 m, totalizando 50 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS (DATUM SIRGAS_2000). Em seguida, foi realizado sob cada ponto amostral a coleta de amostras de solos deformadas e indeformadas na profundidade de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

2.3 Análises laboratoriais

2.3.1 Análises do solo

Nas amostras coletadas na malha amostral, de acordo com os métodos propostos por Teixeira *et al.*, (2017), os atributos do solo foram determinados a granulometria pelo método da pipeta e a densidade do solo (D_s), pelo método do anél volumétrico.

O teor de fósforo (P) foi determinado utilizando-se o método da resina trocadora de íons (Raij *et al.* 2001), a matéria orgânica (MO), por sua vez, foi estimada com base no carbono orgânico. O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988). O estoque de carbono orgânico total (ECOT) foi calculado pela expressão (Veldkamp, 1994) (Equação 1):

$$ECOT = (COT \times D_s \times e) / 10 \quad (1)$$

onde:

ECOT = estoque de carbono orgânico total em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);

COT = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (10 cm).

2.4 Forma de análise dos resultados

2.4.1 Análises geoestatísticas

Foi realizada análise exploratória dos dados, calculando-se média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, desvio padrão, variância e teste de normalidade. O coeficiente de variação (CV%) foi calculado com base no critério de Warrick e Nielsen (1980) que classifica o CV como baixo < 12%, médio de 12% a 24% e alto > 24%. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Para determinação da existência da dependência espacial foram modelados semivariogramas, utilizando análise geoestatística por meio da krigagem (Matheron, 1963; 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, C₀; variância estrutural, C₁; patamar, C₀ + C₁; 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, foi 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, foi selecionado aquele que apresentou maior R² (coeficiente de determinação) e melhores coeficientes da validação cruzada (VC), indicando maior proximidade entre os valores observados e estimados.

Na análise do grau de dependência espacial ($GDE = [(C_1/(C_0+C_1))*100]$) das variáveis utilizou-se a classificação de Zimback (2001), onde valores de GDE < 25%, 25 e 75% e > 75% são considerados dependência espacial fraca, moderada e forte, respectivamente.

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). A vantagem deste método está em sua praticidade de comparação dos mapas 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.

2.4.2 Análises dos parâmetros biofísicos da cultura – índice de vegetação

Os dados de reflectância do dossel do consorcio de goiaba com pastagem foram coletadas utilizando o sensor multiespectral que opere em quatro bandas multi-espectrais (verde: 550nm+/- 40nm; Vermelho 660+/- 40nm; Borda Vermelho (rededge): 735nm+/-10nm e infravermelho Próximo: 790nm+/-40nm)), adquiridas por meio de Drone da DJI Mavic 3 Multi-espectral.

Foi realizado a leitura com o objetivo de avaliar as alterações espacial do índice de vegetação(IV) da cultura. As medidas foram realizadas a aproximadamente 120 m acima e perpendicular ao dossel das plantas. Foi utilizado um sistema de posicionamento global (GPS) para obter as coordenadas geográficas de cada medição de reflectância. A partir das medidas foram calculados o índice (parâmetros biofísicos) descritos na equação 2.

$$NDVI = (Nir_{760} - Vis_{670}) / (Nir_{760} + Vis_{670}) \quad (2)$$

onde:

NDVI = Normalized difference vegetation index ou Índice de diferença de vegetação normalizado, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico (Rouse *et al.*, 1973);

NIR₇₆₀, Re₇₂₀ e VIS₆₇₀ e são as refletâncias das bandas nos comprimentos de luz de 760, 720 e 670 nm.

Os parâmetros biofísicos (NDVI) foi gerado com os repositórios de longa duração do software QGIS 3.16.9 'Hannover'. Vale ressaltar que o QGIS é um software para Sistema de Informações Geográficas gratuito e amplamente utilizado em trabalhos com dados geográficos. A geração destes mapas de índices de vegetação permitiu a correlação espacial com os mapas dos atributos físicos que mais influenciam no desenvolvimento das culturas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na análise descritiva dos dados apresentados na Tabela 1, observa-se que os atributos físicos e químicos do solo avaliados no consórcio de goiaba e pastagem apresentaram comportamento distinto entre as profundidades analisadas. O solo foi classificado como argiloso em ambas as camadas, com predomínio da fração argila (484,35 g kg⁻¹) em relação à areia (328,52 g kg⁻¹), mantendo comportamento semelhante ao longo do perfil analisado. A média e a mediana dos atributos granulométricos apresentaram valores próximos, indicando distribuição relativamente homogênea dos dados, enquanto os coeficientes de variação variaram de baixa a média magnitude, evidenciando baixa variabilidade desses atributos na área (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos dos solos na área de consórcio de goiaba e pastagem, nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.

Estatística	Argila	Areia	Ds	COT	MO	ECOT	P
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g cm ⁻³	g kg ⁻¹	g dm ⁻³	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³
0,0-0,10 m							
Média	484,35	328,52	1,35	20,78	35,83	28,00	9,50
Mediana	482,10	348,87	1,38	19,52	33,65	26,94	7,29
Mínimo	303,80	175,82	1,06	13,07	22,54	18,12	3,06
Máximo	644,00	498,54	1,53	37,11	63,98	47,81	28,65
DP	68,17	67,17	0,10	4,98	8,58	6,47	6,10
CV (%)	14,07	20,45	7,22	23,95	23,95	23,12	64,20
Var.	4646,81	4512,24	0,01	24,79	73,67	41,90	37,21
Curtose	0,51	-0,10	0,60	1,71	1,71	1,42	2,85
Assimetria	-0,08	-0,36	-0,81	1,17	1,17	1,16	1,80
KS	0,08 ^{NS}	0,14*	0,17*	0,13*	0,13*	0,16*	0,18*
0,10-0,20 m							
Média	492,11	309,97	1,38	12,32	21,24	16,95	5,81
Mediana	502,80	330,47	1,39	11,50	19,82	16,34	4,93
Mínimo	330,40	113,87	1,08	8,14	14,03	11,82	1,95
Máximo	657,50	471,50	1,52	26,31	45,36	34,70	28,65
DP	75,50	72,91	0,10	3,04	5,25	3,88	4,30
CV (%)	15,34	23,52	6,92	24,70	24,70	22,88	74,05
Var.	5700,93	5315,38	0,01	9,27	27,54	15,03	18,52
Curtose	-0,17	0,34	1,22	8,04	8,04	8,44	16,39
Assimetria	-0,03	-0,54	-0,95	2,18	2,18	2,32	3,60
KS	0,11*	0,12*	0,10*	0,14*	0,14*	0,15*	0,24*

Ds = densidade do solo; COT = carbono orgânico total; MO = matéria orgânica; ECOT = estoque de carbono orgânico total; P = fósforo; DP = desvio-padrão; Var. = Variância; CV = coeficiente de variação; KS = teste de normalidade, NS = Não significativo; * = significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Fonte: o autor (2026).

Além dos atributos granulométricos, observou-se que a Ds, o ECOT e o P apresentaram maiores valores médios na camada superficial (0,0–0,10 m) em comparação à profundidade de 0,10–0,20 m (Tabela 1). A Ds apresentou média de 1,35 g cm⁻³ na camada superficial e 1,38 g cm⁻³ na subsuperfície, enquanto o P

apresentou médias de 9,50 e 5,81 mg dm⁻³, respectivamente. O ECOT apresentou redução de 28,00 Mg ha⁻¹ para 16,95 Mg ha⁻¹ entre as profundidades avaliadas.

Práticas de manejo como o pastejo animal e o tráfego de máquinas podem influenciar os valores de Ds, especialmente nas camadas mais superficiais. Corroborando com esses resultados, Araújo *et al.*, (2022), ao avaliarem atributos físicos do solo em áreas de floresta nativa e pastagem no Vale do Jamari, Rondônia, verificaram que a área de pastagem apresentou maiores valores de Ds em comparação à floresta nativa, com aumento da Ds em profundidade, evidenciando alterações nas propriedades físicas do solo decorrentes do uso e manejo da área, principalmente em razão do pisoteio animal.

A maior concentração de fósforo e estoque de carbono na camada superficial pode estar relacionada ao maior acúmulo de resíduos vegetais, à ciclagem de nutrientes promovida pelas plantas e à maior atividade biológica próxima à superfície do solo. O teor de fósforo disponível no solo, mesmo com a última adubação realizada em 2020, pode estar associado ao efeito residual das adubações orgânicas e inorgânicas nos solos e às características mineralógicas do Latossolo, visto que o grau de intemperismo do solo, expresso por suas características mineralógicas, como o tipo de argila e a presença de minerais, óxidos de ferro e alumínio, permite avaliar a reserva total de fósforo e seu grau de disponibilidade a longo prazo no solo (Raij, 1991). Embora solos altamente intemperizados apresentem, em geral, elevada interação do P com óxidos de Fe e Al, Latossolos com predominância de caulinita tendem a apresentar menor capacidade de adsorção de fósforo quando comparados àqueles com maior presença de gibbsita e goethita (Cessa *et al.*, 2010; Fink *et al.*, 2016). Dessa forma, parte do P aplicado anteriormente pode ter permanecido em formas lábeis ou moderadamente lábeis, contribuindo para a manutenção de maiores teores de P disponível ao longo do tempo, no entanto, para culturas perenes, como a goiaba (Cantarella *et al.*, 2022), o valor de P, é considerado baixo, embora seja elevado para os valores considerados para Latossolos.

A média e a mediana apresentaram, de modo geral, valores próximos para a maioria dos atributos avaliados, indicando distribuição relativamente homogênea dos dados (Tabela 1). Observa-se, entretanto, maior distanciamento entre essas medidas para o fósforo em ambas as profundidades, bem como para alguns atributos químicos na camada de 0,10–0,20 m, como COT, MO e ECOT, evidenciando maior

variabilidade desses atributos. A amplitude entre os valores mínimos e máximos também reforça essa condição, principalmente para o fósforo, que apresentou maior variação em relação aos demais atributos avaliados. Comportamento semelhante foi observado por Lima *et al.*, (2025), no qual que verificaram maior estabilidade e homogeneidade para atributos estruturais do solo, como textura e densidade, enquanto variáveis mais dinâmicas, como carbono orgânico e umidade, apresentaram maior variabilidade espacial em função da influência do manejo e das condições ambientais. Nesse contexto, a maior variabilidade observada para os atributos químicos neste estudo, especialmente P, COT, MO e ECOT, pode estar relacionada aos processos de ciclagem de nutrientes, deposição heterogênea de resíduos orgânicos e diferenças na distribuição do sistema radicular, fatores que contribuem para aumentar a heterogeneidade espacial desses atributos no solo.

Os coeficientes de assimetria e curtose apresentaram valores positivos e negativos em ambas as profundidades (Tabela 1). De modo geral, a maioria dos atributos apresentou valores de assimetria próximos de zero, indicando distribuição aproximadamente simétrica dos dados. Entretanto, alguns atributos, como o P, apresentaram maior afastamento desse valor, evidenciando distribuição assimétrica e possível influência de valores extremos. Para a curtose, nota-se valores variando de -0,10 (areia) a 2,85 (na camada de 0,0–0,10 m) e de -0,17 (argila) a 16,39 (P) na profundidade de 0,10–0,20 m, evidenciando a influência de valores extremos em alguns atributos. No entanto, observa-se que parte dos dados se encontra próxima da faixa considerada aceitável (-2 a +2) em estudos geoestatísticos (Negreiros Neto *et al.*, 2014).

Para os resultados referentes ao teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 1), observa-se que, na camada de 0,0–0,10 m, apenas o atributo argila não apresentou diferença significativa em relação à distribuição normal ($p > 0,05$), enquanto os demais atributos (areia, Ds, COT, MO, ECOT e P) apresentaram valores significativos ($p \leq 0,05$), indicando ausência de normalidade. Na profundidade de 0,10–0,20 m, todos os atributos avaliados apresentaram valores significativos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, evidenciando que os dados não seguem distribuição normal nessa camada. Ressalta-se que a normalidade dos dados não é condição obrigatória para a aplicação de técnicas geoestatísticas, conforme destacado por Isaaks e Srivastava (1989).

De acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), os coeficientes de variação (CV) dos atributos avaliados variaram de baixo a alto. Os

atributos físicos apresentaram CV baixo e moderado indicando menor variabilidade e maior homogeneidade, enquanto os atributos químicos exibiram variabilidade de moderada a alta, com destaque para o P, que apresentou elevada variabilidade em ambas as profundidades (64,20 e 74,05%, respectivamente). Os atributos relacionados ao carbono demonstraram comportamento intermediário, com variabilidade moderada. Da mesma forma, Lima *et al.*, (2025) verificaram que atributos estruturais do solo, como textura e densidade, apresentaram menor variabilidade quando comparados aos atributos químicos e biogeoquímicos, evidenciando maior estabilidade espacial desses componentes.

Nesse contexto, embora o coeficiente de variação seja útil para comparar a variabilidade entre atributos, independentemente das unidades analisadas, ele não permite avaliar a distribuição espacial dos dados (Lima *et al.*, 2022). Assim, conforme destacado por Silva *et al.* (2017), ferramentas geoestatísticas se mostram mais adequadas, pois possibilitam explicar a variabilidade espacial por meio de parâmetros como o alcance e o grau de dependência espacial (GDE), proporcionando maior precisão na interpretação dos dados, em áreas cultivadas.

Além disso, mesmo quando haja altos valores de CV, o mais importante é evidenciar a variabilidade espacial e garantir a normalidade das distribuições (Brito *et al.*, 2022). No presente estudo, os atributos avaliados apresentaram ajuste ao modelo de semivariograma esférico (Figura 2). Conforme Isaaks e Srivastava (1989), os modelos esféricos são adequados para descrever propriedades com alta continuidade espacial, ou seja, menos erráticas em distâncias curtas. Grego e Vieira (2005) afirmam que os modelos de semivariograma esférico e exponencial são os que mais se ajustam aos dados dos atributos do solo. No trabalho de Araújo *et al.* (2022), avaliando os impactos na variabilidade espacial da Ds e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia, verificaram que, o modelo esférico melhor se ajustou aos dados, corroborando com este trabalho.

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas podem ser observados na Figura 2. As análises geoestatísticas, com base na classificação proposta por Zimback (2001), indicaram que a maioria dos atributos apresentou grau de dependência espacial (GDE) de moderada magnitude, evidenciando a atuação conjunta das características naturais do solo e dos fatores associados ao manejo da área. Na camada de 0,0–0,10 m, os atributos argila, P, MO, COT e ECOT apresentaram dependência espacial moderada, enquanto a areia e a

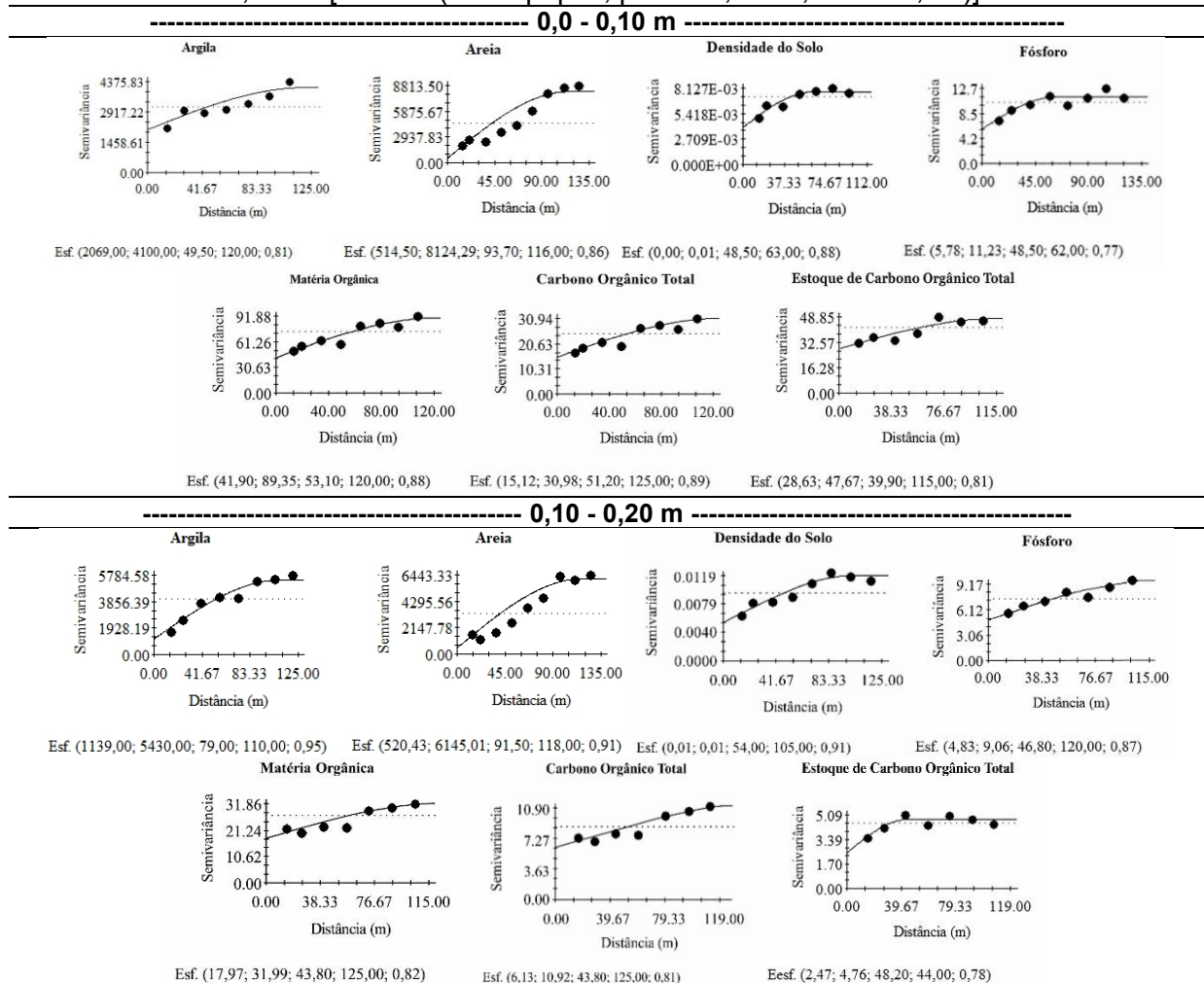
Ds apresentaram forte dependência espacial. Já na camada de 0,10–0,20 m, a argila e a areia apresentaram forte dependência espacial, enquanto Ds, P, MO, COT e ECOT apresentaram dependência espacial moderada. Esse comportamento indica que os atributos granulométricos, principalmente a areia, apresentaram maior continuidade espacial, refletindo maior influência de fatores intrínsecos de formação do solo. Por outro lado, os atributos químicos e relacionados à matéria orgânica apresentaram dependência espacial moderada, sugerindo influência conjunta dos fatores naturais e do uso e manejo da área. Comportamento semelhante foi observado por Araújo *et al.* (2023), em estudo realizado em áreas de pastagem no estado de Rondônia, no qual os autores identificaram dependência espacial para todos os atributos avaliados, e por Lima *et al.* (2021), que verificaram dependência espacial variando de moderada a forte para os atributos químicos do solo em área cultivada com pastagem.

Na camada de 0,0–0,10 m, os baixos valores de efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$) indicam que a maior parte da variabilidade dos atributos é explicada pela estrutura espacial, evidenciando forte dependência espacial (Figura 2). A Ds destacou-se por apresentar efeito pepita nulo ($C_0 = 0,00$), patamar reduzido e alcance de 63,00 m, indicando elevada homogeneidade espacial dos dados. Os atributos relacionados ao carbono, como MO, COT e ECOT, apresentaram elevados valores de alcance (entre 115,00 e 125,00 m), indicando maior continuidade espacial e menor variabilidade em curtas distâncias. De acordo com Vieira (2000), o alcance representa a distância máxima na qual os pontos ainda apresentam correlação. De forma semelhante, os atributos granulométricos, argila e areia, também apresentaram altos valores de alcance (116,00 a 120,00 m), reforçando a homogeneidade espacial desses atributos. Em contraste, o P apresentou menor alcance (62,00 m), evidenciando maior variabilidade em escala local, comportamento frequentemente associado à sua baixa mobilidade de P no solo e à influência do manejo agrícola.

Na profundidade de 0,10–0,20 m, observa-se a manutenção do padrão de dependência espacial para os atributos avaliados, com destaque para o aumento do alcance da Ds (105,00 m), indicando maior continuidade espacial em relação à camada superficial (Figura 2). Os atributos MO e CO mantiveram elevados valores de alcance (próximos de 125,00 m), enquanto o ECOT apresentou redução significativa (cerca de 44,00 m), sugerindo maior variabilidade espacial nessa profundidade. Os atributos granulométricos continuaram apresentando elevada continuidade espacial,

com alcances próximos de 110,00 m para argila e 118,00 m para areia, indicando estabilidade desses componentes no perfil do solo. O P apresentou aumento do alcance em relação à camada superficial, evidenciando maior continuidade espacial nessa profundidade. Nesse contexto, o alcance se destaca como uma variável fundamental no planejamento amostral, pois, conforme McBratney e Webster (1986), permite definir o espaçamento adequado entre amostras, garantindo maior precisão na representação da variabilidade espacial dos atributos do solo.

Figura 2 - Parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos do solo na área de consórcio de goiaba com pastagem nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)].



Fonte: o autor (2026).

A maior continuidade espacial observada para a maioria dos atributos na camada de 0,10–0,20 m (Figura 2) pode estar relacionada à menor influência das práticas de manejo em profundidade, uma vez que os efeitos decorrentes do pastejo e das demais intervenções antrópicas tendem a se concentrar nas camadas mais

superficiais do solo. Nesse sentido, Lima *et al.* (2021) verificaram redução da variabilidade dos atributos em profundidade em áreas de pastagem, evidenciando maior influência do manejo na superfície do solo. Por outro lado, a maior variabilidade espacial observada para o ECOT nessa camada pode estar associada às diferenças na distribuição e estabilização do carbono ao longo do perfil do solo. Segundo Torres-Sallan *et al.* (2017), em maiores profundidades, as características minerais do solo influenciam a distribuição do carbono, o que pode explicar a maior variabilidade espacial do ECOT nessa camada.

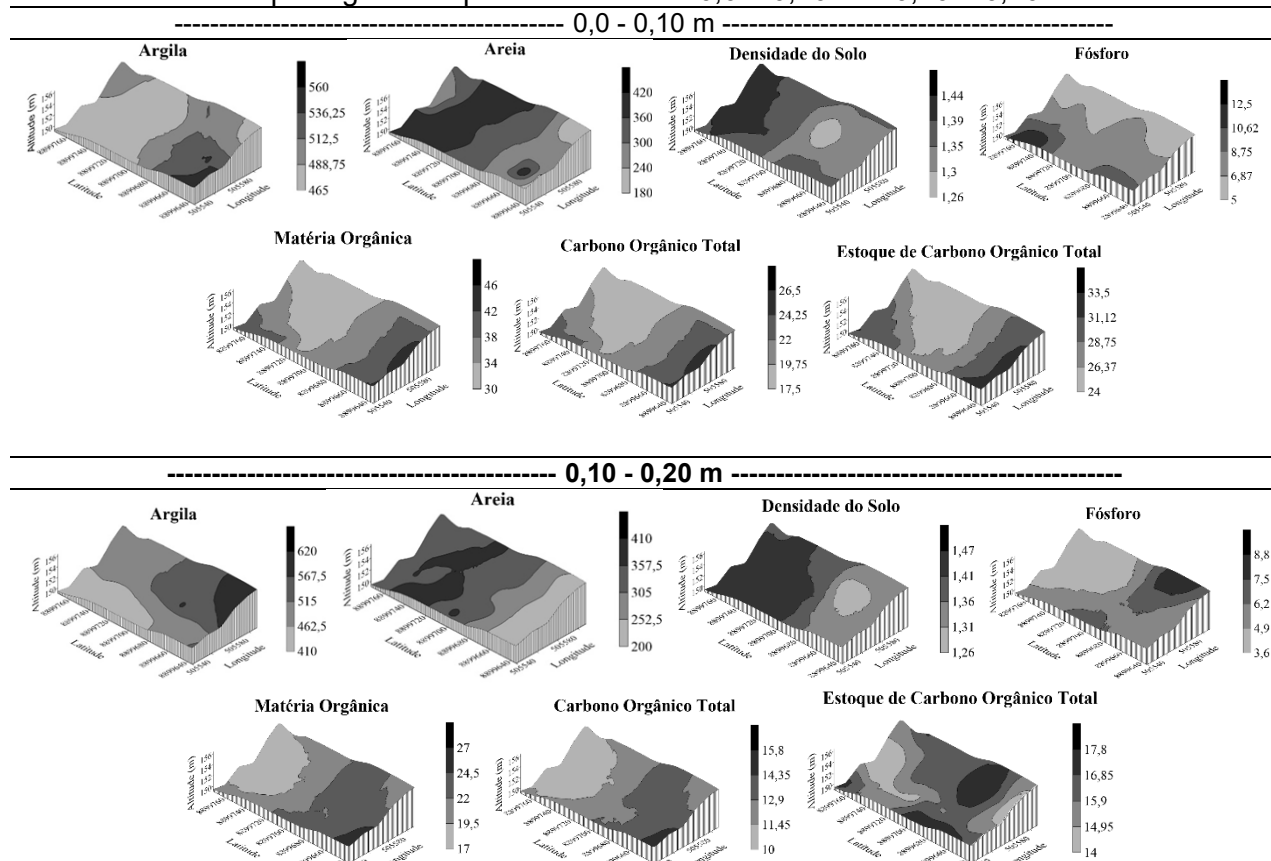
De modo geral, os valores de alcance variaram entre aproximadamente 62,00 e 125,00 m na camada superficial e entre 44,00 e 125,00 m na subsuperfície, evidenciando que a continuidade espacial dos atributos ocorre dentro desses limites (Figura 2). Os atributos como argila, areia, COT e MO apresentaram maiores alcances, indicando maior uniformidade espacial, enquanto P e ECOT apresentaram menores alcances, evidenciando maior variabilidade em escala local. O valor de alcance pode variar entre os diferentes atributos do solo, sistemas de manejo, espaçamento amostral e tamanho da área avaliada (Vieira, 2000). Observa-se que os alcances obtidos foram superiores ao espaçamento adotado na malha amostral, indicando que o delineamento utilizado foi suficiente para captar a dependência espacial dos atributos avaliados. Dessa forma, esse parâmetro assume papel fundamental tanto no planejamento quanto na definição de estratégias de amostragem em estudos de variabilidade espacial (Oliveira *et al.*, 2023).

No parâmetro coeficiente de regressão (R^2), observa-se que a maioria dos semivariogramas apresentou valores elevados em ambas as profundidades, indicando bom ajuste do modelo aos dados experimentais (Figura 2). Na camada de 0,0–0,10 m, os valores de R^2 variaram de 0,77 a 0,89, com destaque para o COT (0,89), a Ds e a MO (0,88), evidenciando melhores ajustes do modelo geoestatístico para esses atributos. Na profundidade de 0,10–0,20 m, os valores de R^2 variaram de 0,77 a 0,95, apresentando, de modo geral, melhores ajustes em relação à camada superficial. Destaca-se a argila, que apresentou o maior valor de R^2 (0,95), seguida pela Ds e areia (0,91), indicando elevada consistência dos modelos ajustados.

A partir dos ajustes dos semivariogramas aos atributos do solo, foram elaborados os mapas de krigagem (Figuras 3), o que permitiu identificar associações espaciais entre os atributos avaliados. Os mapas das variáveis COT, MO e ECOT, em ambas as profundidades, apresentaram semelhança na distribuição espacial,

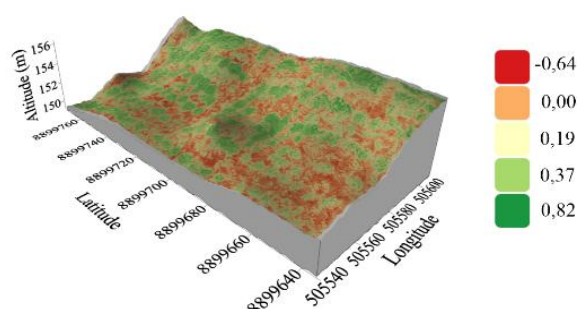
evidenciando correspondência entre esses atributos.

Figura 3 - Mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo na de consórcio de goiaba com pastagem nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.



Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

NDVI



Fonte: o autor (2026).

Nos mapas de krigagem apresentados na Figura 3, observa-se redução dos valores de COT, MO e ECOT na camada de 0,10–0,20 m em comparação à camada superficial de 0,0–0,10 m, indicando menor acúmulo desses atributos em subsuperfície. O COT variou de 13,07 a 37,11 g kg⁻¹ na camada superficial e de 8,14 a 26,31 g kg⁻¹ na subsuperficial, enquanto a MO apresentou valores entre 22,54 e

63,98 g dm⁻³ e entre 14,03 e 45,36 g dm⁻³, respectivamente. Para o ECOT, os valores variaram de 18,12 a 47,81 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0,0–0,10 m e de 11,82 a 34,70 Mg ha⁻¹ na camada de 0,10–0,20 m. Esse comportamento é comum, pois a camada superficial do solo recebe maior aporte de resíduos vegetais e apresenta maior atividade biológica, favorecendo a concentração de matéria orgânica e carbono. Vasconcelos *et al.* (2026) observaram comportamento semelhante, com maiores teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e redução gradual em profundidade.

Além da redução em profundidade, os atributos MO, COT e ECOT apresentaram padrões espaciais semelhantes, principalmente na camada de 0,0–0,10 m, evidenciando a estreita relação entre eles. Esse comportamento é esperado, uma vez que a matéria orgânica constitui a principal reserva de carbono do solo, refletindo diretamente nos teores de carbono orgânico total e, conseqüentemente, nos estoques de carbono. Medeiros *et al.* (2022) observaram que os maiores estoques de carbono tendem a ocorrer nas camadas superficiais, em função do maior aporte de resíduos orgânicos. De forma semelhante, Cardoso *et al.* (2026) verificaram maiores concentrações de matéria orgânica na camada de 0,0–0,10 m, atribuídas ao aporte de serrapilheira e à intensa atividade biológica do solo.

Além disso, observa-se relação entre os teores de COT, MO e ECOT com a textura do solo e a Ds, de modo que áreas com maiores teores de argila apresentam maiores conteúdo desses atributos e menores valores de Ds, enquanto regiões com maior teor de areia apresentam comportamento inverso. Esse padrão também foi observado por Lima *et al.* (2023), reforçando a influência da textura e do manejo na dinâmica da matéria orgânica e na qualidade física do solo.

Para os atributos granulométricos, verifica-se comportamento inverso entre areia e argila, com valores de areia variando aproximadamente entre 180 e 420 g kg⁻¹ e a argila entre 420 e 560 g kg⁻¹ na camada superficial, evidenciando correspondência na distribuição espacial das zonas de maior e menor concentração.

A Ds apresentou padrão de distribuição relativamente uniforme em comparação aos demais atributos, com valores variando entre 1,26 e 1,44 g cm⁻³ na camada superficial e entre 1,26 e 1,47 g cm⁻³ na subsuperfície, evidenciando menor contraste entre as zonas de valores. Observa-se, contudo, uma relação consistente entre os maiores valores de densidade do solo e os atributos granulométricos, na qual áreas

com maiores teores de areia tendem a apresentar maiores valores de densidade. Resultados semelhantes foram reportados por Lima *et al.* (2022), que também observaram maiores valores de densidade do solo em áreas de pastagem, associando esse comportamento aos maiores teores de areia. De acordo com Guimarães *et al.* (2016), solos com maior fração arenosa tendem a apresentar maior densidade devido ao maior peso específico das partículas e ao menor teor de matéria orgânica, contribuindo para alterações na qualidade física do solo.

Por outro lado, o P apresentou maior variação espacial, com valores variando entre aproximadamente 5,0 e 12,5 mg dm⁻³ na camada superficial e entre 3,6 e 8,8 mg dm⁻³ na subsuperfície, com formação de zonas bem definidas de maior e menor concentração, evidenciando distribuição mais heterogênea em relação aos demais atributos avaliados. Nesse sentido, Carneiro *et al.* (2022) observaram que a variabilidade espacial do fósforo disponível apresenta dependência espacial e é influenciada pelo manejo adotado, refletindo-se na formação de diferentes zonas de fertilidade do solo. De forma complementar, Machado *et al.* (2021) observaram comportamento heterogêneo do fósforo disponível ao longo da área de estudo e dos anos de monitoramento, evidenciando a influência das práticas de manejo sobre a distribuição desse nutriente. Dessa forma, a distribuição do P tende a apresentar maior heterogeneidade em relação aos demais atributos do solo.

Após identificar as associações espaciais entre os atributos do solo, foi realizado a análise da variabilidade espacial do NDVI, e a distribuição do vigor vegetativo na área estudada, possibilitando a comparação com os padrões espaciais observados para os atributos do solo (Figura 3). A análise do mapa de NDVI mostra que a área apresenta alta variação espacial, com valores entre -0,64 e 0,82, formando zonas com diferentes níveis de vigor vegetativo. Essa variação está relacionada ao uso do solo, caracterizado pelo consórcio entre goiabeira e pastagem. As áreas com maiores valores de NDVI estão associadas principalmente à presença das copas das goiabeiras, enquanto valores médios e baixos estão relacionados à vegetação herbácea, à pastagem cultivada nas entrelinhas ou a regiões com menor cobertura vegetal. Valores negativos indicam áreas sem cobertura vegetal ativa, como solo exposto ou vegetação morta, enquanto valores próximos de zero representam baixa atividade vegetativa ou vegetação sob estresse.

Ao relacionar o NDVI com os atributos MO, COT e ECOT, observa-se que, embora esses atributos do solo tenham apresentado padrões espaciais semelhantes

entre si, principalmente na camada superficial, essa mesma correspondência não foi evidenciada de forma tão clara com o índice de vegetação, especialmente na camada superficial. Esse resultado indica que a variabilidade espacial do NDVI na área estudada pode estar mais relacionada à estrutura da cobertura vegetal, especialmente à presença das copas das goiabeiras e à densidade do dossel, do que exclusivamente à distribuição dos atributos relacionados ao carbono do solo. Porém, de forma geral, ao avaliar a camada de 0,10-0,20 m, fica mais evidente os padrões de variabilidade dos atributos do solo com o NDVI, sendo, que as áreas com maiores teores de matéria orgânica e carbono no solo coincidiram, com as áreas de maiores valores de NDVI, demonstrando que, a camada que menos sofreu interferência do manejo, apresentou correlação espacial entre os atributos do solo e o vigor fisiológico das culturas. Em seu trabalho, Cardoso *et al.* (2026) observaram relação positiva entre matéria orgânica do solo e valores de NDVI em área preservada do semiárido brasileiro, indicando comportamento semelhante ao observado no presente estudo.

Já ao relacionar o comportamento do NDVI em relação aos demais atributos do solo, observa-se que, em alguns pontos, os maiores valores do índice coincidem com áreas de maior Ds e maior teor de areia. Esse resultado indica que o vigor da vegetação não está associado apenas às limitações físicas decorrentes da compactação, provocada pelo pisoteio animal ou pelo tráfego de máquinas, outros fatores, como a textura do solo, a disponibilidade de água e nutrientes, além da influência das goiabeiras sobre o microambiente, também podem contribuir para o desenvolvimento da vegetação e para a variação dos valores de NDVI na área. Solos mais arenosos apresentam menor agregação e maior facilidade de rearranjo das partículas quando submetidos à pressão, o que pode levar ao aumento da Ds. O aumento da Ds pode ser um indicativo de maior compactação e está associado ao trânsito de máquinas e implementos agrícolas, bem como ao pisoteio animal em áreas sob uso agrícola e pecuário (Albuquerque; Sangoi; Ender, 2001). Long *et al.* (2024) destacam que a compactação mecânica decorrente do tráfego de máquinas promove aumento da densidade do solo e da resistência à penetração, reduzindo a porosidade, a condutividade hidráulica e a infiltração de água. De maneira semelhante, Serrano *et al.* (2023) observaram que o impacto dos cascos dos animais favorece o colapso dos poros maiores, promovendo aumento da densidade do solo e da resistência à penetração em áreas sob pastejo. Antoneli *et al.* (2025) também verificaram aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água ao final do período de utilização,

evidenciando os efeitos do pisoteio animal sobre a estrutura do solo.

No sistema consorciado avaliado, formado por goiabeiras e pastagem, a presença das árvores pode favorecer a permanência dos animais em áreas de sombra, o que tende a intensificar o pisoteio nesses locais. Ao mesmo tempo, as copas das goiabeiras contribuem para maior biomassa e densidade do dossel, favorecendo a elevação dos valores de NDVI. Barboza *et al.* (2023) destacam que o NDVI apresenta forte relação com a biomassa vegetal, sendo amplamente utilizado na estimativa e no monitoramento do crescimento da vegetação. Corroborando a esses resultados, Mello *et al.* (2020) verificaram que o NDVI está diretamente relacionado à biomassa do dossel vegetal, apresentando maiores valores em áreas com maior cobertura vegetal. De maneira semelhante, Ogliari *et al.* (2019) destacam que o NDVI é amplamente utilizado para monitorar características fisiológicas e biofísicas da vegetação, sendo sensível às alterações na estrutura do dossel e ao acúmulo de biomassa verde. Assim, a associação entre maiores valores de densidade do solo e maior vigor vegetativo observada em algumas áreas pode ser explicada pela maior biomassa e densidade de dossel proporcionadas pela presença das goiabeiras, que proporcionou o maior pisoteio animal nestes locais, aumentando a D_s , e não necessariamente por melhores condições físicas do solo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação integrada da geoestatística e do sensoriamento remoto permitiu caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e do vigor vegetativo em um sistema consorciado de goiabeira com pastagem, evidenciando que os atributos físicos e químicos do solo apresentam padrões espaciais definidos e passíveis de serem delimitados para fins de manejo localizado. Embora o NDVI tenha sido eficiente para representar a distribuição espacial da cobertura vegetal, sua relação com os atributos do solo mostrou-se limitada pela heterogeneidade estrutural do sistema consorciado, indicando que o índice reflete predominantemente a arquitetura do dossel das goiabeiras.

Os resultados reforçam o potencial das ferramentas de agricultura de precisão no diagnóstico da variabilidade espacial em sistemas integrados, subsidiando a definição de zonas de manejo e o uso mais racional dos recursos. Entretanto, estudos futuros devem incorporar análises estatísticas de associação espacial e múltiplos índices espectrais para melhor compreender a interação entre os atributos do solo e a resposta da vegetação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001. DOI: 10.1590/S0100-06832001000300021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300021>. Acesso em: 02 maio 2026
- ANTONELI, V.; GAMBA, L. M.; BEDNARZ, J. A.; CORRALES MARMOL, M. P.; VRAHNAKIS, M.; KASTRIDIS, A.; ZAIMES, G. N. Effect of Rotational Grazing on Soil Quality and Animal Behavior in an Integrated Crop–Livestock System on Small Subtropical Farms. **Land**, Basel, v. 14, n.8, p.1617-1632, 2025. DOI: 10.3390/land14081617. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land14081617>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000200009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200009>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- ARAÚJO, E.A.; KER, J. C; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012. DOI: 10.5777/paet.v5i1.1658. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1658/1686>. Acesso em: 04 abr. 2024.
- ARAÚJO, J.C.; VETTORAZZI, C.A.; MOLIN, J. P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 437-447, 2005. DOI: 10.4025/actasciagron.v27i3.1406. Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/molin/estimativa.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2024.
- ARAÚJO, R. M.; SILVA, D. M. P.; CAMPOS, M. C. C.; LIMA, A. F. L.; BRITO, W. B. M.; SANTOS, L. A. C.; CUNHA, J. M. Spatial variability of organic carbon and soil carbon stock in pasture areas in União Bandeirantes, Rondônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 2, p. 1013-1024, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.2.p1013-1024. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p1013-1024>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- ARAÚJO, W. O.; ALVARES, A. E. S.; EMERICK, H. F.; CRUZ, S. N.; OLIVEIRA, M. V.; SILVA, C. D. T.; ALMEIDA, W. S.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A. Impactos na variabilidade espacial da densidade e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, e284111537170, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i15.37170. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37170>. Acesso em: 20 jun. 2026.

BARBOSA, F. R.; LIMA, M. F. (ed.). **A cultura da goiaba**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 180 p. (Coleção Plantar, 66). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/876249/1/PLANTARGoiabaed022010.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BARBOZA, E. A.; SILVA, S. A.; SILVA, G. F.; SANTOS, M. A.; SANTOS, A. R. Application of vegetation indices in the estimation and monitoring of plant biomass: a review. **AgriEngineering**, v. 5, n. 2, p. 52, 2023. DOI: 10.3390/agriengineering502005. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/digital5020052>. Acesso em: 19 jun. 2026.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SC.20 Porto Velho**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1978. 663 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=281400&view=detalhes>. Acesso em: 19 jun. 2026.

BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, F. G.; SILVA, L. S.; CUNHA, J. M.; LIMA, A. F. L.; MARTINS, T. S.; OLIVEIRA, F. P.; OLIVEIRA, I. A. Spatial patterns of magnetic susceptibility optimized by anisotropic correction in different Alisols in southern Amazonas, Brazil. **Precision agriculture**, v. 23, n. 2, p. 419-449, 2022. DOI: 10.1007/s11119-021-09843-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09843-6>. Acesso em: 13 jun. 2026.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of soils**, Harpenden, v. 19, n. 4, p. 269-279, 1995. DOI: 10.1007/BF00336094. Disponível em: <https://scihub.se/10.1007/BF00336094>. Acesso em: 04 abr. 2024.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 31, n. 3, p. 315-331, 1980. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1980.tb02084. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330742834>. Acesso em: 04 abr. 2024.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARRETO, R. M.; RAIJ, B. van. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (2.^a ed.). Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas.

CARDOSO, M. C.; ARAÚJO, A. O.; SILVA, W. L. C.; ALBUQUERQUE, E. M.; DINIZ, J. A.; SILVA, A. C. F. Matéria orgânica do solo e índices de vegetação em uma área preservada do semiárido brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 12, n. 1, p. 325-339, 2026. DOI: 10.21680/2447-3359.2026v12n1ID41445. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2026v12n1ID41445>. Acesso em: 20 jun. 2026.

CARNEIRO, J. S. S.; LEITE, R. C.; FERREIRA JUNIOR, J. M.; FARIA, Á. J. G.; SILVA, S. H. G.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R. Diagnosis of the spatial variability of soil nutrients and economics of precision management in degraded pastures. **Grasses**, Basel, v. 1, p. 30-43, 2022. DOI: 10.3390/grasses1010003. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/grasses1010003>. Acesso em: 19 jun. 2026.

CARVALHO, R. L. S.; NASCIMENTO, B. I. S.; QUERINO, C. A. S.; SILVA, M. J. G.; DELGADO, A. R. S. Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação pluviométrica no município de Ariquemes (Rondônia-Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.18, p.123-142, 2016. DOI: 10.5380/abclima.v18i0.43228. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/43228/28715>. Acesso em: 09 abr. 2024.

CESSA, R. M. A.; VITORINO, A. C. T.; CELI, L.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1535-1542, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000500006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180215650006.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2026.

COSTA, M. M. M. N. **O fósforo na agricultura: disponibilidade no solo e funções na planta**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2026. 56 p. (Documentos / Embrapa Algodão, 304). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1186403/1/DOCUMENTOS-MAGNA-304.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2026.

EMBRAPA. **Mapa do Município de Ariquemes**. Embrapa Amazônia Oriental, 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144421/1/MapaARIQUEMES.pdf>. Acesso em: 04. abr. 2024.

GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S.; CRUZ, C. B. M.; NEVES, R. J.; JESUS, P. H. H.; KREITLOW, J. P. Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do Pantanal de Cáceres/MT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 707-715, 2014. DOI: 10.1590/1980-509820142403018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-509820142403018>. Acesso em: 04 abr. 2024.

GARCIA, G. C.; BONINI, C. S. B; NETO, A. B. INFLUENCIA DO USO E MANEJO DO SOLO NOS CÁTIONS TROCAVEIS UM ARGISSOLO VERMELHO. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 10, n. 7, p.17-27, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/60ea/e70a9af021fbe05c3280ba68ae0dbcdd0f67.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2024.

GIUSTINA, C. D.; CARNEVALLI, R. A.; ROMANO, M. R. Sistemas silvipastoris com frutíferas para criação de bezerras leiteiras: implantação e estabelecimento. *In*: FARIAS NETO, A. L. de et al. (ed.). **Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. pt. 4, cap. 25, p. 316-320. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1103888>. Acesso em: 28 jun. 2026.

GOLDEN SOFTWARE INC. **SURFER for Windows**: sufer 8.0: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide. New York., 1999.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005. DOI: 10.1590/S0100-0683200500020000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>. Acesso em: 20 jun. 2026.

GREGO, C. R.; ALBUQUERQUE, J.; FERNANDES, T.; FRANCHINI, J. C. **Análise espacial entre índice de vegetação e textura do solo utilizando componentes principais e geoestatística**. *In*: Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, 4. 2015, Botucatu. Botucatu, SP: UNESP, 2015. p. 1-5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1018217/1/4527.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2024.

GUIMARÃES, W. D.; GRIPP JUNIOR, J.; MARQUES, E. A. G.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 247-255, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160029. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160029>. Acesso em: 20 jun. 2026.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Geologia do Estado de Rondônia**. Rio de Janeiro, 2006. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/mapas/unidades_da_federacao/ro_geologia.pdf. Acesso em: 04 abr. 2024.

IBGE. **Produção Agropecuária – Rondônia**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>. Acesso em: 04 abr. 2024.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. <https://global.oup.com/academic/product/an-introduction-to-applied-geostatistics-9780195050134>. Acesso em: 20 jun. 2026.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal Soil Research**, v. 41, p.717-730, 2003. DOI: 10.1071/SR02037. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/SR02037>. Acesso em: 04 abr. 2024.

LIMA, A. F. L.; CAMPOS, M. C. C.; BRITO FILHO, E. G.; PINHEIRO, E. N.; SANTOS, L. A. C.; COSTA, E. U. C.; PEREIRA, M. G.; SILVA, D. M. P. Genesis and classification of soils over forest and pasture in a toposequence, in southern Amazonia. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 21, n. 5, p. 4957-4976, 2023. DOI: 10.15666/aeer/2105_49574976. Disponível em: https://doi.org/10.15666/aeer/2105_49574976. Acesso em: 19 jun. 2026.

LIMA, A. F. L.; CAMPOS, M. C. C.; ENCK, B. F.; SIMÕES, W. S.; ARAÚJO, R. M.; SANTOS, L. A. C.; CUNHA, J. M. Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, art. 34, 2022. DOI: 10.1007/s10661-021-09682-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09682-y>. Acesso em: 20 jun. 2026.

LIMA, A. F. L.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, L. S.; BRITO FILHO, E. G.; CUNHA, J. M.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, F. P. Spatial behavior of soil chemical attributes in an area of Black Indian Soil with pasture cultivation. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 5, p. 2523-2533, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.5.p2523-2533. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246084/39320>. Acesso em: 20 jun. 2026.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013. DOI: 10.4136/ambi-agua.959. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>. Acesso em: 04 abr. 2024.

LIMA, L. S. F. R.; CARDOSO, M. M.; SILVA, C. D. T.; SOUZA, J. M.; OLIVEIRA, M. V.; BARCELOS, E. M.; MIRA, A. B.; FREITAS, L.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A. Correlação espacial entre NDVI multiescalar e atributos do solo em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. **Revista DELOS**, Curitiba, v. 18, n. 71, e6845, p. 1-25, 2025. DOI: 10.55905/rdelosv18.n71-150. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n71-150>. Acesso em: 19 jun. 2026.

LIU, J.; YANG, J.; LIANG, X.; ZHAO, Y.; CADE-MENUN, B. J.; HU, Y. Molecular speciation of phosphorus present in readily dispersible colloids from agricultural soils. **Soil Science Society of America journal**, v. 78, p. 47-53, 2014. DOI: 10.2136/sssaj2013.05.0159. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.05.0159>. Acesso em: 28 jun 2026.

LONG, Z.; WANG, Y.; SUN, B.; TANG, X.; JIN, K. Impact of mechanical compaction on crop growth and sustainable agriculture. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, Beijing, v. 11, n. 2, p. 243-252, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2024566>. Acesso em: 19 jun. 2026.

MACHADO, J. L.; SOARES, J. C. W.; FREITAS, H. M.; LIMA, T. H.; CAMPOS, V. F.; GONÇALVES, L. S. **Variabilidade espaço-temporal do fósforo disponível, numa catena de solos do Pampa – 4 anos de monitoramento.** In: Pesquisas e Inovações em Ciências Agrárias: Produções Científicas Multidisciplinares no Século XXI, v. 3. São Paulo: Editora Científica Digital, 2021. p. 179-191. DOI: 10.55232/1084004 Disponível em: <https://doi.org/10.55232/1084004.16>. Acesso em: 19 jun. 2026.

MARIN, D. B.; ALVES, M. D. C.; POZZA, E. A.; GANDIA, R. M.; CORTEZ, M. L. J.; MATTIOLI, M. C. Sensoriamento remoto multiespectral na identificação e mapeamento das variáveis bióticas e abióticas do cafeeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n. 2, p. 142-153, 2019. DOI: 10.1590/0034-737X201966020009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020009>. Acesso em: 04 abr. 2024.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n.8, p. 1246- 1266, 1963. DOI: 10.2113/gsecongeo.58.8.1246. Disponível em: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, n.4, p.617-639, 1986. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x>. Acesso em: 02 maio 2026.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Território do Vale do Jamari**. Brasília, 2014. Disponível em: https://rioterterra.org.br/pt/wp-content/uploads/2016/03/PTDRS-TVJ-2014_VF_ISBN.pdf. Acesso em: 04 abr. 2024.

MEDEIROS, A. S.; SOARES, A. A. S.; MAIA, S. M. F. Soil carbon stocks and compartments of organic matter under conventional systems in Brazilian semi-arid region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 35, n. 3, p. 697-710, 2022. DOI: 10.1590/1983-21252022v35n321rc. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n321rc>. Acesso em: 19 jun. 2026.

MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; OLIVEIRA, T. C.; SILVA, S. T. Uso de índices de vegetação na inferência da biomassa do dossel vegetal. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6282>. Acesso em: 19 jun. 2026.

MELO, J. T. de; ZOBY, J. L. F. **Espécies para arborização de pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico, 113). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40531/1/Especies-para-arborizacao-de-pastagens-.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2026.

NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. A. T.; DARONCH, D. J.; DOTTO, M.A.; ARAÚJO, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014 DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p193. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p193>. Acesso em: 01 jun. 2026.

OGLIARI, D. G. P.; FONTANA, D. C.; BREMM, C.; CARVALHO, P. C. F. NDVI como indicador de diferenças na estrutura da vegetação em pastagens naturais do Bioma Pampa. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos.

Anais... Santos, SP: INPE, 2019. p. 1311-1314. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/08.29.17.43/doc/97157.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2026.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, R. V.; ALMEIDA, R. G.; MARTINS, T. S.; SILVA, D. M. P.; FREITAS, L.; OLIVEIRA, F. P.; MANTOVANELLI, B. C. Geostatistics and Sample Density of Chemical Attributes for Soil under Sugarcane and Agroforestry in Humaitá - AM, Brazil. **Journal of Sustainable Development**, v. 16, n., p. 79-91. 2023. DOI: 10.5539/jsd.v16n4p79. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jsd.v16n4p79>. Acesso em: 10 jun. 2026.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p. Disponível em: https://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf. Acesso em: 20 jun. 2026.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.

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

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. *In*: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>. Acesso em: 20 jun. 2026.

SANTOS JÚNIOR, A. B.; SILVEIRA JÚNIOR, O.; LIMA, Í. C. S.; NUNES, M. E.; SANTOS, A. C.; FARIA, A. F. G. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob diferentes usos agrícolas no ecótono Cerrado-Amazônia. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 7, n. 1, e021004, 2021. DOI: 10.36725/agries.v7i1.5224. Disponível em: <https://doi.org/10.36725/agries.v7i1.5224>. Acesso em: 20 jun. 2026.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed. Brasília: Embrapa, 2025, p. 393. [br/infoteca/handle/doc/1176834](http://infoteca.handle/doc/1176834). Acesso em: 19 jun. 2026.

SERRANO, J.; MARQUES, J.; SHAHIDIAN, S.; CARREIRA, E.; MARQUES DA SILVA, J.; PAIXÃO, L.; PANIAGUA, L. L.; MORAL, F.; FERRAZ DE OLIVEIRA, I.; SALES-BAPTISTA, E. Sensing and Mapping the Effects of Cow Trampling on the Soil Compaction of the Montado Mediterranean Ecosystem. **Sensors**, Basel, v. 23, n. 2, art. 888, 2023. DOI: 10.3390/s23020888. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23020888>. Acesso em: 19 jun. 2026.

SILVA, K. A.; RODRIGUES, M. S.; CUNHA, J. C.; ALVES, D. C.; FREITAS, H. R.; LIMA, A. M. N. Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina-PE. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 8, n. 1, p. 175-180, 2017. DOI: 10.14295/CS.v8i1.2646. Disponível em: <https://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/download/2646/459>. Acesso em: 20 jun. 2026.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Atributos físicos do solo e sua relação espacial com a produtividade do café arábica. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 395-403, out./dez. 2013. Disponível em: [http://177.105.2.222/bitstream/1/13756/1/ARTIGO_Atributos%20f%C3%adsicos%20do%20solo%20e%20sua%20rela%C3%a7%C3%a3o%20espacial%20com%20a%20produtividade%20do%20caf%C3%a9%20ar%C3%a1bica.pdf](http://177.105.2.222/bitstream/1/13756/1/ARTIGO_Atributos%20f%C3%ADsicos%20do%20solo%20e%20sua%20rela%C3%A7%C3%A3o%20espacial%20com%20a%20produtividade%20do%20caf%C3%A9%20ar%C3%A1bica.pdf) . Acesso em: 04 abr. 2024.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.133-139, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000100014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/SbHQWLCrgGRNM5P6BRdFQ6s/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

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**. Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013001200008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>. Acesso em: 04 abr. 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 573, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 10 jun. 2026.

TORRES-SALLAN, G.; SCHULTE, R. P. O.; LANIGAN, G. J.; BYRNE, K. A.; REIDY, B.; SIMÓ, I.; SIX, J.; CREAMER, R. E. **Clay illuviation provides a long-term sink for C sequestration in subsoils**. **Scientific Reports**, London, v. 7, art. 45635, 2017. DOI: 10.1038/srep45635. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep45635>. Acesso em: 19 jun. 2026.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, n.1, p.54-94, 1985. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60673-2. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60673-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60673-2). Acesso em: 19 jun. 2026.

TREVISAN, R. G.; EITELWEIN, M. T.; COLAÇO, A. F.; GARZELLA, T. C.; MOLIN, J. P. Imagens de satélite da vegetação nativa no mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo *In*: X Congresso brasileiro de Agroinformática. 10, SBIAGRO, 2015; III Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Agroinformática, 3, SBIAGRO-IC. **Anais...** Ponta Grossa, PR: UEPG. Disponível em: https://afurlan.com.br/lap/cp/assets/layout/files/tc/pub_imagens-de-satelite-da-vegetacao-nativa-no-mapeamento-da-variabilidade-espacial-de-atributos-do-solo---trevisan-rg--eitelwein-mt--colaco-af--garzella-tc--molin-jp--x-sbiagro-2015---04-.pdf, Acesso em: 04 abr. 2024.

VASCONCELOS, M. C.; SILVA, R. F.; DIAS, B. O.; LACERDA, J. J. J.; ARAÚJO, W. O.; SILVA, M. G. A.; COSTA, M. C. C. Matéria orgânica e estoque de carbono em solos sob diferentes sistemas de uso nos biomas Cerrado e Caatinga do Brasil. **Nativa**, Cuiabá, v. 14, n. 1, e19999, 2026. DOI: 10.31413/nat.v14i1.19999. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nat.v14i1.19999>. Acesso em: 03 maio 2026.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 1, p. 175-180, 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x.. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x>. Acesso em: 20 jun. 2026.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1. p. 1-54. 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313098532>. Acesso em: 04 abr. 2024.

VIEIRA, S. R. SOUZA, L.S.; COGO, N. P.; Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 77-86, 1991. DOI: 10.3733/hilg.v51n03p075. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/P5ZLW8KhcZYFgMcczkDSv4M/?lang=pt>. Acesso em: 02 maio 2026

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.3, p.1-75, 1983. DOI: 10.3733/hilg.v51n03p075. Disponível em: <https://doi.org/10.3733/hilg.v51n03p075>. Acesso em: 11 jun. 2026

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. DOI: 10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>. Acesso em: 30 jun. 2026

WÓJTOWICZ M.; WÓJTOWICZ A.; PIEKARCZYK J. Application of remote sensing methods in agriculture. **Communications in Biometry and Crop Science**, Polonia, v. 11, n. 1, p. 31–50, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/290494859_Application_of_remote_sensing_methods_in_agriculture. Acesso em: 08 abr. 2024..

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. DOI: 10.1080/00103628809368027. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>. Acesso em: 20 jun. 2026.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; SILVA, O. R. R. F.; RAMOS, E. N.; BARBOSA, H. F.; CORDEIRO JUNIOR, A. F.; LIRA, A. J. S. **Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) para a Região Agreste do Nordeste**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 26 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 266). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1064682>. Acesso em: 29 jun. 2026.