

Campus Ariquemes
Coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia

MARIANE MARCHI CARDOSO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E
ATRIBUTOS DO SOLO SOB PASTAGENS NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI,
RONDÔNIA**

MARIANE MARCHI CARDOSO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E
ATRIBUTOS DO SOLO SOB PASTAGENS NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI,
RONDÔNIA**

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 e Coorientadora Dra. Ludmila de Freitas.

ARIQUEMES - RO

2026

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

Cardoso, Mariane Marchi.

Correlação espacial e temporal entre índice de vegetação e atributos do solo sob pastagens na região do Vale do Jamari, Rondônia. / Mariane Marchi Cardoso. - Ariquemes, 2026. 29 f. : il.

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

Coorientador(a): Prof^a. Dra. Ludmila de Freitas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Ariquemes, 2026.

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

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

MARIANE MARCHI CARDOSO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E
ATRIBUTOS DO SOLO SOB PASTAGENS NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI,
RONDÔNIA**

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 e Coorientadora Dra. Ludmila de Freitas.

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

Membro da Banca

Membro da Banca

Orientador

Coorientador

CORRELAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E ATRIBUTOS DO SOLO SOB PASTAGENS NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI, RONDÔNIA

RESUMO: A pecuária é uma das principais atividades econômicas do estado de Rondônia e depende diretamente da produtividade das pastagens. Entretanto, o manejo inadequado pode ocasionar degradação dos atributos físicos e químicos do solo, comprometendo o desenvolvimento das forrageiras. Nesse contexto, o uso do sensoriamento remoto e da geoestatística permite avaliar a variabilidade espacial e temporal da vegetação e do solo, auxiliando no diagnóstico das áreas produtivas. O objetivo deste trabalho foi analisar a correlação espaço-temporal entre atributos físicos e químicos do solo e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em uma área de pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. O estudo foi conduzido em uma área cultivada com *Panicum maximum* cv. Mombaça, onde foi estabelecida uma malha amostral com espaçamento regular de 45 m, totalizando 35 pontos georreferenciados. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0–0,10 m e 0,10–0,20 m para determinação dos atributos físicos e químicos. O NDVI foi obtido a partir de imagens multiespectrais adquiridas com drone nos períodos seco e chuvoso. Os resultados indicaram dependência espacial moderada para a maioria dos atributos do solo. Observou-se que áreas com menores valores de densidade do solo, maior porosidade e maiores teores de carbono orgânico apresentaram maiores valores de NDVI, especialmente no período chuvoso. Conclui-se que o NDVI se mostrou eficiente para identificar a variabilidade espacial do vigor da pastagem, podendo auxiliar no manejo localizado do solo.

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

SPATIAL AND TEMPORAL CORRELATION BETWEEN VEGETATION INDEX AND SOIL ATTRIBUTES UNDER PASTURES IN THE JAMARI VALLEY REGION, RONDÔNIA

ABSTRACT: Livestock farming is one of the main economic activities in the state of Rondônia and depends directly on pasture productivity. However, inadequate management can lead to degradation of the physical and chemical attributes of the soil, compromising the development of forage crops. In this context, the use of remote sensing and geostatistics allows for the evaluation of the spatial and temporal variability of soil and vegetation, aiding in the diagnosis of productive areas. The objective of this work was to analyze the spatiotemporal correlation between physical and chemical soil attributes and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in a pasture area in the Jamari Valley, Rondônia. The study was conducted in an area cultivated with *Panicum maximum* cv. Mombaça, where a sampling grid with regular spacing of 45 m was established, totaling 35 georeferenced points. Soil samples were collected in the 0.0–0.10 m and 0.10–0.20 m layers to determine physical and chemical attributes. The NDVI was obtained from multispectral images acquired with a drone during the dry and rainy seasons. The results indicated moderate spatial dependence

for most soil attributes. Areas with lower soil density, higher porosity, and higher organic carbon content showed higher NDVI values, especially during the rainy season. It is concluded that NDVI proved efficient in identifying the spatial variability of pasture vigor and may assist in localized soil management.

Keywords: NDVI; soil management; geostatistics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 METODOLOGIA	9
2.1 Área de estudo	9
2.2 Metodologia de campo	10
2.3 Análises do solo	10
2.4 Forma de análise dos resultados.....	11
2.4.1 Análises estatísticas explanatórias.....	11
2.4.2 Análises geoestatísticas.....	11
2.4.3 Construção de mapas espaciais.....	12
2.4.4 Processamento de imagens e cálculo do índice de vegetação	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

A pecuária continua sendo um dos pilares da economia de Rondônia. Em 2024, o Estado contava com cerca de 18,22 milhões de cabeças de gado bovino, ocupando a sexta posição nacional, atrás apenas de Mato Grosso, Pará, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (IBGE, 2024). Esse número representa um crescimento expressivo em relação a 2021 (15,11 milhões), com aumento acumulado de quase 20% no período. Dentro desse cenário, o Vale do Jamari se destaca como um dos principais polos pecuários, reunindo municípios como Buritis, Ariquemes e Machadinho d'Oeste entre os maiores rebanhos do estado (IBGE, 2024). Essa relevância reforça a necessidade de práticas de manejo que assegurem a conservação do solo e a produtividade das pastagens, principal fonte de alimento do rebanho bovino regional.

O Estado apresenta duas estações bem definidas: a chuvosa, de outubro a abril, e a seca, de junho a agosto, sendo maio e setembro meses de transição (Silva *et al.*, 2015). Em razão dessas condições climáticas favoráveis, diversas atividades agrícolas são desenvolvidas no Vale do Jamari. Entretanto, muitas dessas práticas são conduzidas sem o devido cuidado com o solo, o que contribui para sua degradação. No estado de Rondônia, o desmatamento, frequentemente realizado para abertura de novas áreas agrícolas e de pastagem, acentua esse processo ao alterar as características naturais do solo.

A transformação de ecossistemas naturais em áreas de uso antrópico, como pastagens, provoca alterações significativas nos atributos físicos do solo, refletindo em compactação, aumento da densidade, redução da porosidade e maior suscetibilidade à erosão (Parente; Maia, 2011; Schlindwein *et al.*, 2021). Essas mudanças, geralmente associadas ao pisoteio animal e ao manejo inadequado, reduzem a produtividade das pastagens e comprometem a sustentabilidade do sistema (Carmo *et al.*, 2018). Nesse sentido, Araújo *et al.* (2022) observaram, no Vale do Jamari, que solos sob pastagem apresentaram maiores densidades em relação aos de floresta nativa, atribuindo tal condição à pressão do pisoteio. Tais impactos resultam em redução da produtividade, problemas de conservação, alterações na composição botânica e diminuição da persistência das espécies forrageiras.

Diante desse cenário, técnicas de Agricultura de Precisão, como a geoestatística e o sensoriamento remoto, têm se mostrado ferramentas eficazes para avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo e monitorar a vegetação

(Sibaldelli *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2023). A krigagem, baseada em semivariogramas, permite estimar valores em locais não amostrados (Lafetá *et al.*, 2022), enquanto índices de vegetação, como o NDVI, derivados da reflectância em diferentes bandas do espectro eletromagnético, possibilitam avaliar o vigor e a dinâmica das culturas (Trindade *et al.*, 2021).

O sensoriamento remoto, por sua vez, baseia-se na reflectância de alvos em distintas regiões do espectro eletromagnético (EEM). A partir dessas informações, é possível calcular índices de vegetação (IV), ferramentas essenciais na Agricultura de Precisão. Tais índices, fundamentados principalmente nas bandas do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP), permitem avaliar o vigor e o desenvolvimento da vegetação (Oliveira *et al.*, 2023). Quanto mais verdes e saudáveis forem as plantas, maior a absorção no vermelho e maior a reflectância no infravermelho (Formaggio; Sanches, 2017).

Pesquisas já demonstraram a aplicabilidade desses índices. Em área de cana-de-açúcar em Itajobi-SP, Zanzarini *et al.* (2013) verificaram correlação positiva entre argila, fósforo e NDVI. Em pastagem irrigada, Sampaio *et al.* (2020) observaram que o NDVI obtido por imagens de VANT foi sensível às variações do sistema, auxiliando no planejamento do manejo. Da mesma forma, Passos (2021) demonstrou que o NDVI pode ser um indicador do nível de degradação de pastagens tropicais no nordeste de São Paulo. Na região amazônica, Lima *et al.* (2025) verificaram que os maiores valores de NDVI coincidem com solos mais argilosos, com maior estoque de carbono e maior umidade em área de pastagem no Vale do Jamari, Rondônia.

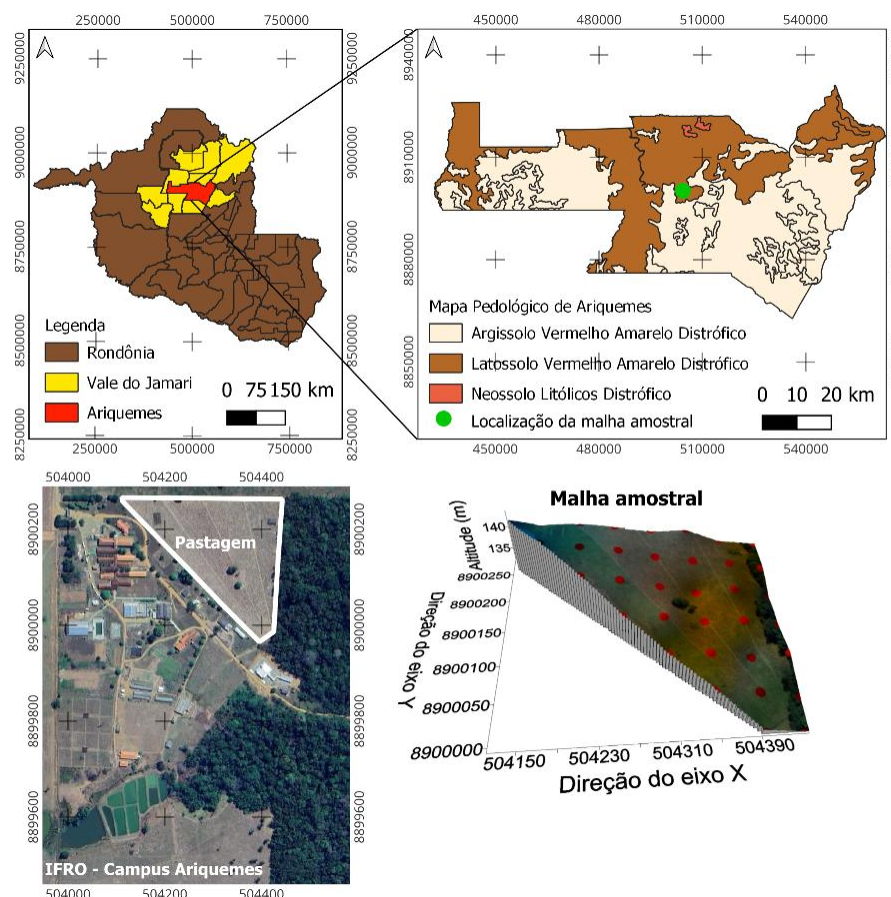
Apesar desses avanços, ainda são limitados os estudos que integram análises espaciais de atributos do solo e índices de vegetação na avaliação de pastagens na região do Vale do Jamari, Rondônia. Nesse contexto, parte-se das hipóteses de que os atributos físicos e químicos do solo apresentam dependência espacial, e que o NDVI é capaz de refletir a variabilidade espaço-temporal da pastagem entre os períodos chuvoso e seco e que essa variabilidade apresenta associação com a distribuição espacial dos atributos do solo. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a relação espaço-temporal entre atributos do solo e índices de vegetação em áreas de pastagem na região do Vale do Jamari, Rondônia.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em solo sob cultivo de pastagem (*Panicum maximum* cv. Mombaça), nas áreas experimentais do Instituto Federal de Rondônia – *Campus Ariquemes* (Figura 1), localizada 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 Awi, 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 2290 mm, e a umidade relativa do ar apresenta uma média de 81,02% (Carvalho *et al.*, 2016). Os solos da região predominam os Latossolos e Argissolos (Embrapa, 1998) (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização e perfil esquemático mostrando as classes de solos no município de Ariquemes e malha amostral da área de estudo



Fonte: O autor (2026).

2.2 Metodologia de campo

Foi identificada uma área sob uso agropecuário de pastagem, com extensão aproximada de 5,3 hectares, na qual o solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo - SiBCS (Santos *et al.*, 2025). Após a identificação, foi estabelecida uma malha amostral, e o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 45 m, perfazendo um total de 35 pontos amostrais (Figura 1). Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS (DATUM SIRGAS_2000). Em seguida, foi realizada 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.

A área de estudo era uma pastagem degradada e passou por um processo de recuperação no ano de 2020. Inicialmente, foi realizado o plantio de milho para produção de silagem. Após a colheita, o solo foi preparado com aração e gradagem, além da aplicação de calcário e adubação conforme necessidades nutricionais para cultivo do capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça). Desde então, não houve novo revolvimento do solo, sendo feito apenas o manejo dos animais na área. No momento da coleta, a pastagem estava em uso contínuo há cerca de cinco anos.

2.3 Análises do solo

Nas amostras de solo coletadas, foram avaliados atributos físicos e químicos. Nas amostras deformadas foram realizadas a análise granulométrica pelo método da pipeta, utilizando dispersão química com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação mecânica lenta por 16 horas a 50 rotações por minuto, para caracterização da textura do solo (Teixeira *et al.*, 2017).

Nas amostras indeformadas, coletadas em anéis volumétricos, a densidade do solo (Ds) foi determinada pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel. A macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total (Pt) foram determinadas pelo método da mesa de tensão, conforme os procedimentos descritos por Teixeira *et al.* (2017).

Entre os atributos químicos e fertilidade, seguindo a metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017), avaliou-se o pH em água (relação 1:2,5 solo: água). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de oxidação úmida com dicromato de potássio em meio ácido (Walkley Black, 1934). A partir dos teores de carbono

orgânico, foi estimado o teor de matéria orgânica (MO), utilizando-se o fator de Van Bemmelen (1,724). Posteriormente, o estoque de carbono orgânico total (ECOT) foi calculado a partir dos valores de COT, da densidade do solo (Ds) e da espessura da camada amostrada, conforme proposto por Veldkamp (1994) (Equação 1).

$$ECOT = (CO \times Ds \times e) / 10 \quad (1)$$

Onde:

ECOT = estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);
CO = teor de carbono orgânico na profundidade amostrada (g kg⁻¹); Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³); e = espessura da camada considerada.

Os teores de fósforo (P), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e potássio (K⁺) foram determinados pelo método da resina trocadora de íons, conforme Raij *et al.* (2001). A acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foi determinada pelo método do tampão SMP. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi estimada a pH 7 pela soma das bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) e da acidez potencial (H⁺ + Al³⁺). A saturação por bases (V%) foi calculada pela relação entre a soma de bases e a CTC.

2.4 Forma de análise dos resultados

2.4.1 Análises estatísticas exploratórias

Foi realizada análise exploratória dos atributos do solo, 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 KolmogorovSmirnov, a 5% de probabilidade.

2.4.2 Análises geoestatísticas

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:

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

Onde:

$\gamma(h)$ - 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 $\gamma(h)$ 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; Tringmar *et al.*, 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 considerado o melhor R^2 (coeficiente de determinação) e coeficientes da validação cruzada (VC) (dados de VC não apresentados neste trabalho). 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.

2.4.3 Construção de mapas espaciais

Os valores interpolados por meio da krigagem e ajustes de semivariogramas foram usados para construção de mapas espaciais ou (isolinhas) dos atributos do solo avaliado, com uso do programa Surfer 11 (Golden Software Inc., 2012). A vantagem deste método está em sua praticidade de comparação dos mapas de diferentes variáveis analisadas. A construção dos mapas espaciais ou mapas de isolinhas serviram de base para visualização das relações espaciais entre o índice de vegetação da pastagem e os atributos dos solos.

2.4.4 Processamento de imagens e cálculo do índice de vegetação

Os dados de reflectância do dossel da pastagem foram coletadas utilizando um sensor multiespectral que opera em quatro bandas multi-espectrais (verde: 550nm+/- 40nm; Vermelho 660+/- 40nm; Borda Vermelho (rededge): 735nm+/-10nm e infravermelho Próximo: 790nm+/-40nm)), acoplado ao drone DJI Mavic 3 Multi-espectral. As leituras foram realizadas nos períodos chuvoso (dezembro de 2023; fevereiro, março e abril de 2024 e 2025) e seco (junho, agosto e setembro de 2023 e 2024 e junho de 2025), com o objetivo de avaliar a variabilidade espaço-temporal dos índices de vegetação da pastagem.

As imagens foram obtidas a aproximadamente 120 m de altura, com o sensor posicionado perpendicularmente 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 foi calculado o índice de vegetação (IV) (parâmetros biofísicos) descritos na equação 3.

$$NDVI = (Nir760 - Vis670)/(Nir760 + Vis670) \quad (3)$$

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 e Vis670 são as reflectâncias das bandas nos comprimentos de luz de 760 e 670 nm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo estão apresentados na Tabela 1. Entre os atributos físicos avaliados, a textura do solo (granulometria) mostrou-se predominantemente argilosa (Santos *et al.*, 2025). A Ds apresentou médias de $1,34 \text{ g cm}^{-3}$ (0,0-0,10 m) e $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ (0,10-0,20 m), sendo semelhante à observada por Carmo *et al.* (2018) em pastagens com indícios de degradação, apresentando tendência de aumento em profundidade. Esse comportamento é atribuído, principalmente, ao pisoteio animal, que promove alterações na estrutura do solo, elevando a Ds e reduzindo a porosidade (Tassi *et al.*, 2021). Valores de Ds superiores a $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ podem comprometer a produção forrageira, conforme relatado por Rocha *et al.* (2023) para o capim Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás), além de interferir na absorção de macronutrientes, como evidenciado por Cabral *et al.* (2012) para o capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça).

Em relação à porosidade do solo, a microporosidade não apresentou variações significativas nas camadas avaliadas, com leve redução em profundidade (36,44% e 36,29%, de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente) (Tabela 1), enquanto a macroporosidade apresentou leve redução com a profundidade (13% na camada de 0,0-0,10 m para 12,3% na de 0,10-0,20 m), acompanhando o aumento da Ds. A porosidade total também apresentou pequeno decréscimo em profundidade (49,4% para 48,6%). Os macroporos são especialmente sensíveis ao manejo, sendo diretamente afetados pelo incremento da densidade do solo (Reichert *et al.*, 2007).

Entre os atributos químicos (Tabela 1), o pH apresentou valores médios de 5,25 (0,0-0,10 m) e 5,17 (0,10-0,20 m), compatíveis com a acidez natural de Latossolos fortemente intemperizados (Sousa; Lobato, 2004). A V% foi de 59,47% na camada 0,0-0,10 m e 44,78% em 0,10-0,20 m, situando-se próxima ao intervalo recomendado para gramíneas forrageiras muito exigentes em fertilidade, como o capim-mombaça (Vilela *et al.*, 2004). A V% elevada na camada superficial pode estar relacionada ao manejo do solo, com calagem e adubação antes do cultivo da pastagem, uma vez que, em geral, os Latossolos amazônicos apresentam baixa fertilidade (Rodrigues *et al.*, 2021).

Os teores de MO foram mais elevados na camada superficial ($29,35 \text{ g dm}^{-3}$), com redução em profundidade ($23,56 \text{ g dm}^{-3}$) (Tabela 1), padrão comum em solos sob pastagem devido ao maior aporte de resíduos na superfície (Silva *et al.* 2023). De

forma semelhante, o CO apresentou decréscimo com a profundidade, com valores de 17,02 g kg⁻¹ na camada de 0,00-0,10 m e 13,66 g kg⁻¹ em 0,10-0,20 m (Tabela 1), comportamento que também se refletiu no ECOT. Resultados inferiores foram relatados por Almeida *et al.* (2024) em pastagens extensivas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *U. humidicola* sob condição de degradação. A SB e CTC também apresentaram decréscimo em profundidade, comportamento semelhante aos atributos químicos e registrados na literatura.

Tabela 1. Estatística descrita dos atributos físicos e químicos do solo sob área de pastagem no Vale do Jamari, RO

Estatística											
Atributos	Un.	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Var.	DP	CV	Ass.	Curtose	T
0,00 – 0,10 m											
Areia	g kg ⁻¹	109,25	277,00	192,50	192,00	2005,21	44,78	23,00	0,01	-1,05	0,11*
Silte	g kg ⁻¹	138,90	332,45	226,34	215,75	2642,51	51,41	23,00	0,41	-0,54	0,14*
Argila	g kg ⁻¹	454,00	749,25	581,16	582,15	4810,59	69,36	12,00	0,33	-0,21	0,09 ^{NS}
Ds	g cm ⁻³	1,26	1,48	1,34	1,33	0,00	0,05	4,00	0,52	0,19	0,09 ^{NS}
Macro	%	7,29	23,22	13,00	12,83	12,28	3,50	27,00	0,62	0,52	0,10 ^{NS}
Micro	%	31,15	40,45	36,44	36,88	4,73	2,17	6,00	-0,28	-0,50	0,12*
Pt	%	42,59	56,85	49,44	49,94	7,13	2,67	5,00	0,23	1,64	0,12*
CO	g dm ⁻³	11,43	26,04	17,02	16,67	12,55	3,54	21,00	0,91	0,79	0,15*
ECOt	Mg ha ⁻¹	15,65	33,26	22,71	21,64	19,24	4,39	19,00	0,80	0,33	0,14*
pH	H ₂ O	4,20	6,00	5,25	5,40	0,22	0,47	9,00	-0,69	-0,40	0,17*
CTC	cmol _c dm ⁻³	6,15	21,18	8,74	8,18	6,63	2,57	29,00	3,70	16,53	0,28*
SB	cmol _c dm ⁻³	2,70	19,56	5,33	4,95	8,32	2,88	54,00	4,03	20,13	0,27*
V	%	32,18	94,18	59,47	62,26	192,59	13,88	23,00	-0,14	0,24	0,12*
MO	g dm ⁻³	19,70	44,89	29,35	28,74	37,30	6,11	21,00	0,91	0,79	0,15*
P	mg dm ⁻³	5,14	14,10	8,64	8,58	3,70	1,92	22,00	0,61	1,02	0,07 ^{NS}
0,10 – 0,20 m											
Areia	g kg ⁻¹	31,50	240,50	157,29	166,00	1860,37	43,13	27,00	-0,58	0,77	0,10 ^{NS}
Silte	g kg ⁻¹	152,50	436,40	216,90	201,60	3153,8	56,16	26,00	2,03	6,10	0,14*
Argila	g kg ⁻¹	532,10	725,00	625,81	621,10	2802,34	52,94	8,00	0,03	-1,04	0,10 ^{NS}
Ds	g cm ⁻³	0,90	1,29	1,10	1,10	0,01	0,07	7,00	-0,40	0,99	0,12*
Macro	%	6,93	20,51	12,30	11,75	13,71	3,70	3,00	0,68	-0,34	0,13*
Micro	%	31,17	41,03	36,29	36,69	6,37	2,52	7,00	-0,44	0,27	0,13*
Pt	%	39,87	56,29	48,59	48,60	9,14	3,02	6,00	-0,14	1,50	0,09 ^{NS}
CO	g dm ⁻³	7,34	28,64	13,66	13,07	19,57	4,42	32,00	1,64	3,91	0,15*
ECOT	Mg ha ⁻¹	9,96	37,28	18,40	17,56	35,78	5,98	33,00	1,65	3,63	0,18*
pH	H ₂ O	4,20	6,60	5,17	5,10	0,28	0,53	10,00	0,60	0,31	0,13*
CTC	cmol _c dm ⁻³	4,03	11,80	6,49	6,20	2,39	1,55	24,00	1,48	3,38	0,15*
SB	cmol _c dm ⁻³	1,09	10,30	3,04	2,96	3,50	1,87	61,00	1,83	5,37	0,15*
V	%	15,31	87,23	44,78	47,78	317,93	17,83	40,00	0,22	-0,66	0,13*
MO	g dm ⁻³	12,66	49,37	23,56	22,54	58,15	7,63	32,00	1,64	3,91	0,15*
P	mg dm ⁻³	2,48	9,44	4,94	4,77	2,74	1,66	34,00	0,80	0,64	0,14*

Var.: variância; DP: desvio-padrão; CV.: coeficiente de variação; Ass.: assimetria; T: teste de normalidade; NS e *: não significativo e significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Ds = densidade do solo; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; Pt = porosidade total; CO = carbono orgânico; ECOT = estoque de carbono orgânico total; pH = potencial hidrogeniônico; CTC = capacidade de troca de cations; SB = soma de bases; V = saturação de base; MO = matéria orgânica; P = disponibilidade de fósforo. Fonte: O autor (2025).

O P disponível apresentou valores baixos em ambas as profundidades (8,64 e 4,94 mg dm⁻³) (Tabela 1), sendo classificado como baixo segundo Quaggio *et al.* (2022), o que indica limitação ao crescimento radicular e ao estabelecimento da

forrageira. Nogueira *et al.* (2025) também relataram menores teores de P em áreas de pastagens degradadas quando comparadas a sistemas agroflorestais, atribuindo essa diferença à baixa reposição de nutrientes e à elevada fixação de fósforo em solos altamente intemperizados.

A análise de assimetria e curtose dos atributos do solo revelou valores negativos e positivos, afastados do valor central zero (Tabela 1). Os maiores desvios foram observados para a areia, macro e Pt, e dos atributos químicos a CTC, SB, MO e a disponibilidade de P, indicando que a distribuição desses atributos não segue perfeitamente a normalidade. Esses desvios refletem tanto a heterogeneidade natural do solo quanto os efeitos do manejo, corroborando o entendimento de que, conforme observado por Wutzler *et al.* (2020), que ressaltaram que a suposição de distribuição normal nem sempre é adequada para dados ambientais e de solo, dada a variabilidade e complexidade inerentes a esses sistemas.

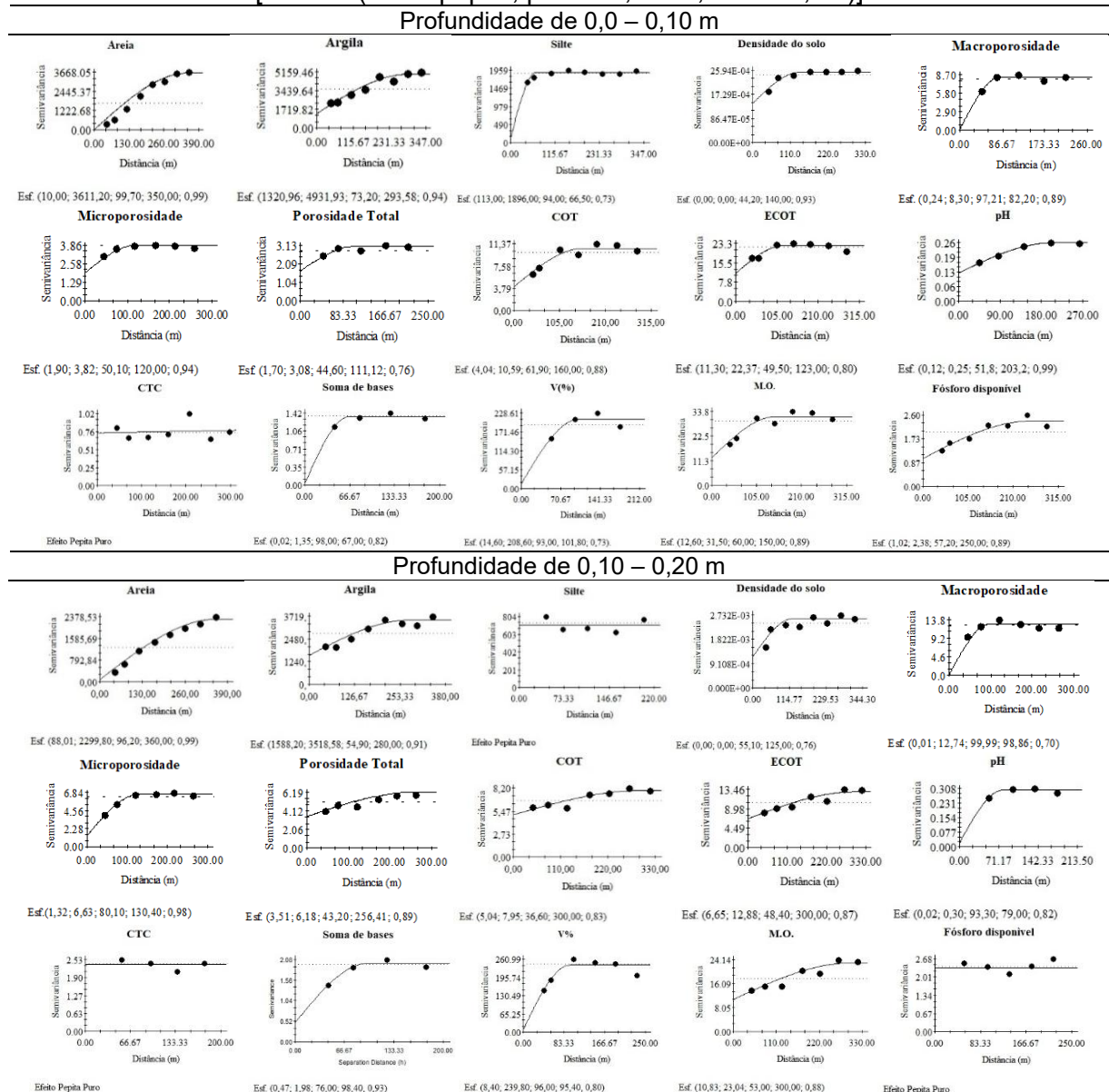
Com relação ao coeficiente de variação (CV), conforme a classificação de Warrick e Nielsen (1980), na camada de 0–0,10 m observou-se baixa variabilidade para a Ds, macro, micro, Pt, pH e argila, indicando maior homogeneidade espacial desses atributos. A areia, silte, V%, MO e P apresentaram variabilidade média, enquanto a CTC, SB, CO e ECOT apresentaram alta variabilidade, evidenciando maior heterogeneidade espacial dos atributos químicos relacionados à fertilidade e ao carbono do solo na camada superficial. Na profundidade de 0,10–0,20 m, manteve-se baixa variabilidade para argila, Ds, macro, micro, Pt e pH. A CTC apresentou variabilidade média, enquanto areia, silte, CO, ECOT, SB, V%, MO e P apresentaram alta variabilidade, indicando maior dispersão espacial dos atributos químicos.

De modo geral, observa-se que os atributos físicos apresentaram menor variabilidade espacial em ambas as profundidades, enquanto os atributos químicos, especialmente aqueles relacionados à fertilidade e ao carbono do solo, demonstraram maior heterogeneidade. Resultados semelhantes foram reportados por Silva *et al.* (2020) em área de pastagem na Amazônia, onde atributos físicos, como Ds e porosidade do solo, apresentaram menor variabilidade quando comparados a atributos químicos, indicando que o manejo da pastagem e a dinâmica de ciclagem de nutrientes influenciam a distribuição espacial desses atributos.

Na análise estatística descritiva, as medidas de média, assimetria e CV permitiram avaliar a magnitude e o grau de dispersão dos atributos do solo entre os pontos amostrados. No entanto, embora o CV possibilite classificar a variabilidade dos

dados, essa medida não permite identificar a dependência espacial nem o padrão de distribuição dos atributos na área. Assim, a análise geoestatística foi realizada para investigar a variabilidade espacial e caracterizar a estrutura espacial dos atributos por meio do ajuste dos semivariogramas (Figura 2).

Figura 2. Parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos do solo [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)]



O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados indicando que a semelhança entre os valores amostrados diminui gradualmente até atingir o alcance, ponto a partir do qual as amostras passam a ser espacialmente independentes (Grego *et al.*, 2014). Esse modelo tem sido o mais frequentemente relatado em estudos de

ciência do solo (Silva *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2024; Martins Neto *et al.*, 2024). Entretanto, a CTC, apresentou Efeito Pepita Puro (EPP) nas duas profundidades, enquanto o silte e P apresentaram EPP na camada superficial (0,0-0,10 m), demonstrado pela ausência de estrutura espacial e pela constância da semivariância ao longo das distâncias. Esse resultado indica que a variabilidade da CTC, silte e P ocorrem em escala menor do que o espaçamento entre pontos amostrais, ou está associada a fatores aleatórios, impossibilitando a definição de alcance. De modo geral, os modelos ajustados apresentaram elevado coeficiente de determinação (R^2), variando de 0,70 a 0,99, confirmando a consistência dos ajustes realizados.

A identificação da estrutura espacial dos dados foi confirmada pelos diferentes graus de dependência entre os atributos analisados. De acordo com os critérios estabelecidos por Zimback *et al.* (2001) a maioria das variáveis apresentou grau de dependência espacial (GDE) moderado, com valores entre 25 e 75%, o que indica que fatores intrínsecos (como a formação e a dinâmica natural do solo) e fatores extrínsecos (como o uso e manejo) atuam conjuntamente na variabilidade desses atributos (Figura 2). No entanto, atributos como areia, macroporosidade, SB e o V% (0,0–0,10 m e 0,10–0,20 m), bem como microporosidade e pH na camada de 0,10–0,20 m, apresentaram elevado GDE (maior que 75%), caracterizando alta dependência espacial. Resultados semelhantes foram observados por Alves *et al.* (2025), que relataram dependência moderada para variáveis como matéria orgânica, potássio, pH e soma de bases, e por Aquino *et al.* (2014), que verificaram dependência moderada para atributos químicos do solo sob pastagens, contrastando com forte dependência em áreas de floresta. De acordo com Araújo *et al.* (2023), o elevado grau de dependência espacial está associado às características intrínsecas do solo, referindo-se aos fatores de formação, enquanto o grau fraco de dependência espacial relaciona-se a fatores extrínsecos. Para Soares *et al.* (2021), a dependência espacial moderada ou fraca pode indicar uma homogeneidade intensa dos solos, resultante de aspectos relacionados aos usos ou aos sistemas de manejo.

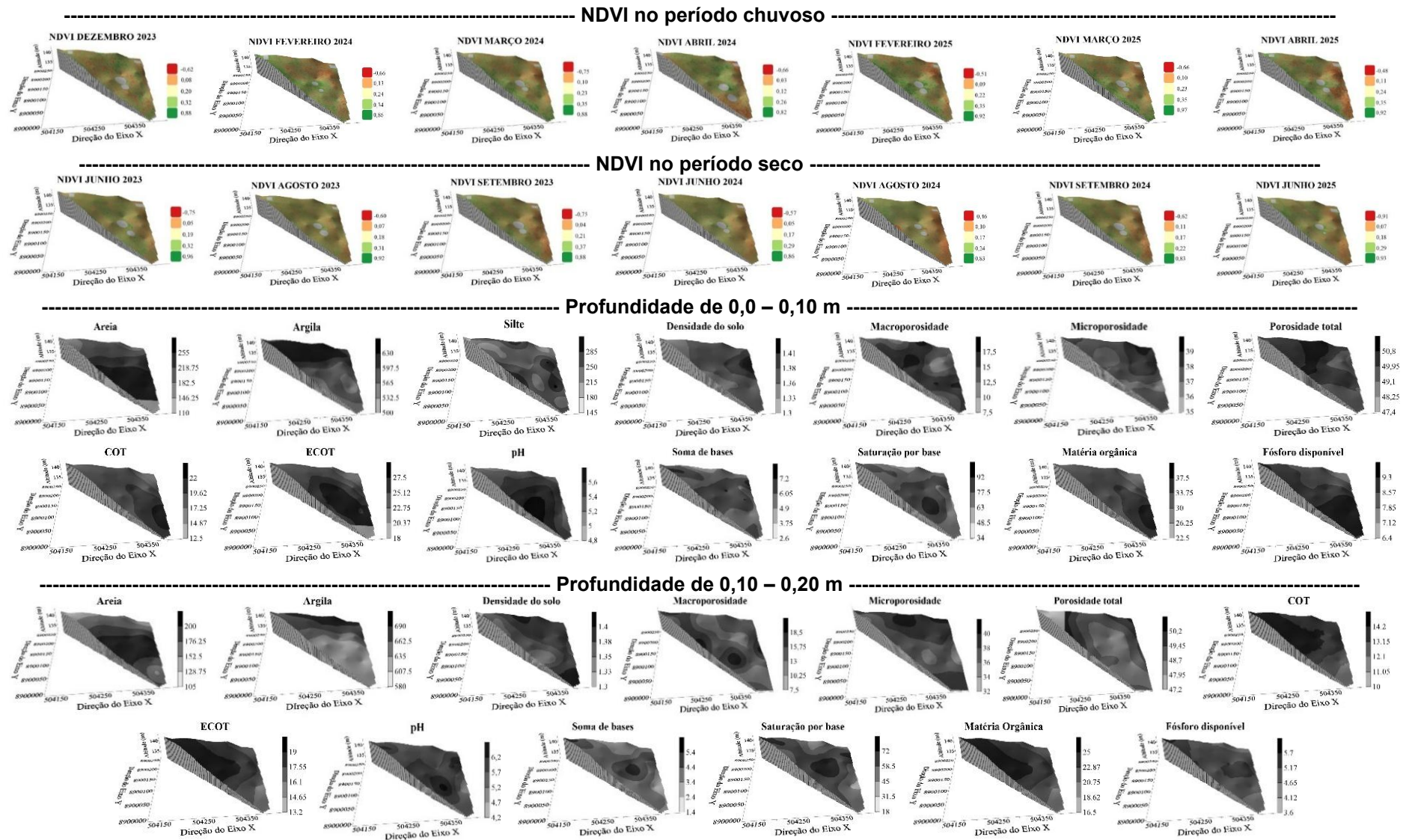
Em relação ao alcance, observou-se variação entre os atributos físicos e químicos do solo nas duas profundidades avaliadas (Figura 2). Na camada de 0,0-0,10 m, os maiores valores de alcance foram registrados para areia (350,00 m), argila (293,58 m), fósforo (250,00 m) e pH (203,00 m). Já na profundidade de 0,10–0,20 m, os atributos apresentaram alcances ainda mais elevados, destacando-se areia (360,00 m), fósforo (350,00 m), matéria orgânica (300 m), argila (280,00 m) e

porosidade total (256,41 m). O alcance representa a distância máxima até a qual os pontos amostrais mantêm dependência espacial significativa, ou seja, o limite de influência mútua entre as amostras para uma dada variável (Silva *et al.*, 2023). De acordo com Vogado *et al.* (2020), valores mais elevados de alcance indicam maior continuidade e homogeneidade espacial do atributo na área de estudo. A maior amplitude observada na camada de 0,10–0,20 m pode estar associada à menor influência direta das práticas de manejo e do pisoteio animal, visto que as alterações físicas decorrentes do pastejo se concentram predominantemente nas camadas superficiais do solo (Zanchettin, 2019).

Com base nos ajustes dos semivariogramas, foram elaborados os mapas de krigagem, que representam a variação espacial dos atributos do solo (Figura 3). Para examinar o comportamento espaço-temporal do NDVI, as leituras na área de pastagem foram realizadas em períodos de maior precipitação e em meses caracterizados pela estiagem (Figura 3), sendo que, nos meses chuvosos, os valores de NDVI variaram entre -0,75 e 0,97, enquanto no período mais secos oscilaram de -0,91 a 0,93. Embora os valores máximos e mínimos sejam próximos entre os períodos, observa-se diferença na distribuição espacial, pois durante a estação seca predominam áreas com valores negativos ou próximos de zero, indicando a redução da biomassa verde e da atividade fotossintética devido à menor disponibilidade de água no solo. Esse comportamento, conforme observado por Paiva *et al.* (2016) reflete o estresse fisiológico da vegetação em condições de déficit hídrico, sendo que pequenas reduções nos valores de NDVI podem representar variações significativas na disponibilidade hídrica e no vigor da vegetação.

A análise espacial do NDVI evidencia, ainda, a formação de zonas contrastantes, com maior concentração de valores negativos (tons vermelhos) na porção leste e predominância de valores positivos (tons verdes) na região norte do mapa (Figura 3). Esse comportamento se relaciona aos padrões observados nos atributos físicos e químicos do solo, especialmente à maior concentração de argila, Pt, ECOT, COT, P disponível, e à menor Ds nessas regiões das áreas, sugerindo que a variabilidade do NDVI está associada não apenas à disponibilidade hídrica, mas também às características edáficas que condicionam o desenvolvimento da pastagem.

Figura 3. Índices de vegetação por diferença normalizada e mapas de krigagem dos atributos do solo em pastagem, no vale do Jamari, RO



NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada; CTC = capacidade de troca cationica; COT = carbono orgânico total; ECOT = estoque de carbono orgânico total. Fonte: O autor (2026).

Observa-se que as regiões com valores positivos de NDVI, próximos de 1, coincidem com áreas de maior teor de argila e maior Pt, indicando melhores condições físicas do solo para o desenvolvimento da vegetação (Figura 3). Além disso, os maiores teores de fósforo contribuíram para os maiores valores de NDVI. Em contrapartida, os valores negativos ou próximos de zero de NDVI concentram-se em áreas com maior Ds e menor P disponível, o que pode restringir a infiltração de água e o crescimento radicular das pastagens (Ramos *et al.*, 2022).

Regiões com maior teor de argila tendem a reter mais água e nutrientes, favorecendo o crescimento vegetal e a manutenção da biomassa verde, o que se reflete em maiores valores de NDVI (Figura 3). Nessas áreas, a estrutura do solo pode apresentar maior estabilidade de seus agregados, contribuindo para o aumento da porosidade total. Resultados semelhantes foram relatados por Zanzarini *et al.* (2013), que observaram correlação positiva entre o teor de argila e os valores de NDVI.

Observa-se ainda que os microporos e os macroporos apresentam distribuição espacial similar à Pt e ao NDVI, sugerindo que solos com melhor estrutura física favorecem o desenvolvimento da vegetação. Até mesmo em condições de seca, a Pt influencia a capacidade de armazenamento e movimentação de água no solo. Assim, áreas com maior proporção de microporos e maior Pt tendem a conservar mais umidade, reduzir o estresse hídrico e manter a atividade fotossintética (Biazatti, *et al.*, 2022), refletindo em valores mais elevados de NDVI no período seco.

O aumento da Ds reduz a porosidade total e limita o desenvolvimento radicular das plantas, além disso, a menor concentração de fósforo compromete o desenvolvimento radicular das plantas. Dessa forma, as áreas que apresentaram maiores valores de NDVI tendem a coincidir com locais de menor Ds, maiores teores de fósforo, carbono orgânico, indicando melhores condições químicas e estruturais para o crescimento da pastagem. Resultado semelhante foi observado por Lima *et al.* (2025), que também verificaram relação inversa entre a densidade do solo e o vigor vegetativo da cobertura.

Os atributos químicos do solo também apresentaram relação com a variabilidade do NDVI, com destaque para o carbono orgânico (CO), estoque de carbono orgânico total (ECOT) e matéria orgânica (MO). Observou-se que esses atributos apresentaram melhor associação com os maiores valores de NDVI, principalmente no período seco, quando a variabilidade espacial do índice é mais evidente. Esse comportamento pode estar relacionado à capacidade da matéria

orgânica em melhorar a retenção de água no solo, devido à sua atuação na formação de agregados e na melhoria da estrutura do solo, reduzindo os efeitos do estresse hídrico (Cerri; Frade Junior, 2021). No período chuvoso, embora o NDVI apresente maior homogeneidade espacial em função da maior disponibilidade hídrica, os maiores valores do índice ainda se concentram em áreas com maiores teores de MO, CO e ECOT, indicando a influência desses atributos na qualidade do sistema radicular.

Para os atributos relacionados à fertilidade, como a CTC e V%, a relação com o NDVI mostrou-se mais evidente no período chuvoso. Nessa condição, a maior disponibilidade de água no solo favorece a absorção de nutrientes pelas plantas. A CTC, por sua vez, está diretamente relacionada à retenção e fornecimento de nutrientes às plantas, enquanto a saturação por bases reflete o grau de ocupação desses sítios por cátions essenciais, influenciando a fertilidade do solo e o crescimento das plantas (Teixeira *et al.*, 2017).

Os dados sugerem que, a avaliação dos parâmetros biofísicos da cultura medido pelo NDVI podem ser considerados para estabelecer zonas de manejo específico, especialmente, relacionado as condições estruturais (atributos físicos) e dos atributos químicos relacionados a fertilidade do solo. Foi possível observar que, embora haja alterações no vigor fisiológico da pastagem nos diferentes períodos de avaliação (período seco e chuvoso), o padrão de distribuição espectrais da cultura se relacionam diretamente com os atributos do solo. Por ser uma avaliação rápida, a elaboração de índices de vegetação, determinados por drones, facilitará a tomada de decisão acerca do manejo específico dos solos sob cultivo de pastagem. Vale ressaltar que, a determinação dos índices espectrais da vegetação, também pode ser avaliada por imagens de satélite, o que poderá ser objeto de estudos contínuos, comparando as diferentes tecnologias de avaliação da vegetação e a viabilidade das tecnologias como uso de drones e imagens de satélites para mapeamento do solo e vegetação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade em profundidade, confirmando alterações estruturais associadas ao manejo da pastagem. A maioria dos atributos apresentou dependência espacial moderada, reforçando a influência conjunta dos fatores naturais e do manejo na variabilidade do solo.

Áreas com maiores teores de MO, COT, ECOT e Pt, associadas a menores valores de densidade do solo, apresentaram maiores valores de NDVI, principalmente no período seco. Nesse período, a variabilidade espacial do índice foi mais evidente, enquanto no período chuvoso predominou maior homogeneidade.

De modo geral, o NDVI foi influenciado não apenas pela precipitação, mas também pelas condições físicas e químicas do solo, demonstrando potencial para identificar zonas específicas de manejo e auxiliar no monitoramento da qualidade das pastagens.

As ferramentas geoestatísticas foram eficientes para calcular e representar a variabilidade espacial dos atributos do solo, o que possibilitou a visualização das relações espaciais com o NDVI estimado em diferentes épocas de avaliação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G. *et al.* Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de pastagens cultivadas em Humaitá, Amazonas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 05, 2024.
- ALVES, F. G. S. *et al.* Variabilidade espacial dos atributos do solo e modelagem para estimar a produção de forragem e a capacidade de suporte no Semiárido. **Ciência Animal Brasileira: Brazilian Animal Science**, Goiânia, v.26, 79827P, 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cab/a/GzgLfDhQ5b57rGyr3SXrsrF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2025.
- ARAÚJO, R. M. *et al.* Spatial variability of organic carbon and soil carbon stock in pasture areas in União Bandeirantes, Rondônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, p. 1013-1024, 2023.
- ARAÚJO, W. O. *et al.* 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**, Itajubá, v. 11, n. 15, e284111537170, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37170/31005>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- BLAZATTI, R. M. *et al.* Effects of the soil compaction on root growth of cover crops in the western Amazon. **Scientia Plena**, v. 18, n. 7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070213>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- CABRAL, C. E. A. *et al.* Compactação do solo e macronutrientes primários na *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 362-367, 2012.
- CARMO, M. C. *et al.* Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na Amazônia Ocidental. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 5, n.9; p. 153-159. 2018. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2018a/densidade.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- CARVALHO, R. L. S. *et al.* 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. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/43228/28715>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- CERRI, C. E. P.; FRADE JUNIOR, E. F. Dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes na Amazônia Ocidental. In: OLIVEIRA, V. A. (org.). **Solos da Amazônia Ocidental: base da sustentabilidade agrícola e ambiental**. Brasília, Embrapa, 2021. cap. 3, p. 67-79.

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: 28 ago. 2025.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 284 p.

GOLDEN SOFTWARE INC. **Surfer 11**: contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. New York., 2012.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. *In*: BERNARDI, A. C. C. *et al.* **Agricultura de Precisão**: Resultados de um Novo Olhar. Embrapa: Brasília. p. 74-83. 2014.

IBGE. **Produção Agropecuária – Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) em Rondônia**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>. Acesso em: 28 nov. 2025.

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

LAFETÁ, B.O. *et al.* Dependência espacial e krigagem para a estimativa textural de solos em São João Evangelista, Minas Gerais, Brasil. **ForScience**, Formiga, v. 10, n. 1, e01081, jan./jun. 2022. DOI:10.29069/forscience.2022v10n1.e1081. Acesso em: 09 fev. 2026.

LIMA, L. S. F. R. *et al.* Correlação espacial entre NDVI multiescalar e atributos do solo em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. **Revista DELOS**, Curitiba, v. 18, n. 71, p. 01-25, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n71-150>. Acesso em: 06 nov. 2025.

MARTINS NETO, R. P. *et al.* Variabilidade espacial do volume e dos atributos do solo em plantio de *Pinus taeda*. **Revista Brasileira de Geomatemática**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 053-068, jan./jun. 2024. Disponível em: https://revistas.utfpr.edu.br/rbgeo/article/viewFile/16555/10384?utm_source.com. Acesso em: 05 nov. 2025.

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

NOGUEIRA, J. C. R. G. *et al.* Atributos físicos e químicos do solo em diferentes formas de uso do solo. **Revista DELOS**, Curitiba, v. 18, n. 70, p. 01-18, 2025. DOI:10.55905/rdelosv18.n70-147. Acesso em: 12 fev. 2026.

OLIVEIRA, I. A. *et al.* Geoestatística Aplicada a Atributos Físicos e Químicos em Área com Mandioca na Região de Humaitá, Amazonas. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis, v. 13, n. 2, 2024, p. 35-49. Disponível em: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2024v13i2.p35-49>. Acesso em: 05 nov. 2025.

OLIVEIRA, P. S. *et al.* **Aplicação da agricultura de precisão em pastagens.** Embrapa: Juiz de Fora, MG. 2023 (Circular Técnica, 127).

PAIVA, C. M. Análise dos Efeitos do Déficit Hídrico na Resposta Temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Estado do Amazonas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38 n. 2, p. 1064 –1076, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/18426/pdf>. Acesso em: 05 nov. 2025.

PARENTE, H. N; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 3, p. 3- 15, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/304218914.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

PASSOS, A. O. **Índices de reflectância, NDVI e EVI como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais.** 52 f. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia- Ciência do Solo). UNESP, Jaboticabal, 2021. Disponível em: [QUAGGIO, J. *et al.* Fósforo. *In*: Cantarella, H. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Boletim 100. Instituto Agrônômico: Campinas, p. 95-105, 2022.](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/210915/passos_ao_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y#:~:text=Os%20%C3%ADndices%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20NDVI,mais%20urg%C3%A2ncia%20de%20serem%20recuperadas. Acesso em: 28 ago. 2025.</p>
</div>
<div data-bbox=)

RAIJ, B. V. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade do solo.** Campinas: Instituto Agrônômico. 2001. 285 p.

RAMOS, B. L. P. *et al.* Developmental factors for forage plants and their responses under stress conditions. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35530>. Acesso em: 12 mar. 2026.

REICHERT, J. M. *et al.* **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais:** identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

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

ROCHA, R. A. S. *et al.* Cultivation of *Urochloa Brizantha* under different soil densities and doses of wood ash. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 27, n. 3, p. 230-238, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n3p230-238>. Acesso em: 18 fev. 2026.

RODRIGUES, J. E. F. *et al.* Efeito da calagem na saturação de bases, nos atributos da fertilidade do solo e na produtividade de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no estado do Pará. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 20, n. 2, 2021.

Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1173104/1/EFEITO-DA-CALAGEM>. Acesso em: 03 mar. 2026.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: Earth Resources Technology Satellite-1*. Symposium, 3, Proceedings Washington: NASA, v. 1, p. 309-317, 1973.

SAMPAIO, H. S. *et al.* Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagem aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, São Carlos, SP, v. 14, n. 2, p. 111-124, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138685/1/P-COMPARACAO-ENTRE-INDICES-DE-VEGETACAO-OBTIDOS-....pdf>. Acesso em: 27 ago. 2025.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed. Brasília: Embrapa, 2025, p. 393.

SCHLINDWEIN, J. A. *et al.* Diagnósticos de solos sob diferentes usos e manejos em Rondônia. *In: SALMAN, A. D. et al. Avanços da pecuária na Amazônia: pesquisas em desenvolvimento Regional em Rondônia*. Porto Velho, RO: Coleção Pós-Graduação da UNIR - EDUFRO, 2021. p. 38-72.

SIBALDELLI, R. N. R. *et al.* Uso de geoestatística no estudo da variabilidade espacial da capacidade de troca de cátions do solo. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 1, p. 141-156, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283662820_Uso_de_Geoestatistica_no_Estudo_da_Variabilidade_Espacial_da_Capacidade_de_Troca_de_Cations_do_Solo. Acesso em: 29 ago. 2025.

SILVA, A. L. Geoestatística para o mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo em sistemas de manejo do solo na Amazônia brasileira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**. v. 16, n. 1, 2023. <https://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n1e9417>. Acesso em: 15 fev. 2026.

SILVA, L. I. Variabilidade espacial de atributos físicos de terra preta de índio sob pastagem (*Brachiaria brizanta* sp. L.) em Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6794>. Acesso em: 10 fev. 2026.

SILVA, L. L.; RIBON, A. A.; BACKES, C. Carbono e matéria orgânica do solo em sistema de manejo de produção de pastagem: uma revisão sistemática com meta-análise. **Agrarian**, Dourados, v. 16, n. 56, 2023. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/17176/9680>. Acesso em: 03 mar. 2026.

SILVA, M. J. G. *et al.* Clima. *In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. Café na Amazônia*. Brasília: Embrapa, p. 39-54, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1023755/cafe-na-amazonia>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SOARES, M. *et al.* Spatial dependency of soil chemical properties in production systems in the anthropogenic dark earth. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 101, p. 532-542, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjss-2020-0110>. Acesso em: 10 fev. 2026.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 41-43, 2004.

TASSI, C. J. *et al.* Compactação do solo em sistema de integração lavoura pecuária sob plantio direto. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**. Paranaguá, v. 6, n. 02, p. 1-20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21575/25254790rmmaa2021vol6n21592>. Acesso em: 10 fev. 2026.

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

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.

TRINDADE, J. P. P. *et al.* **Aplicação do índice normalizado de vegetação no monitoramento de sistema de unidade de manejo**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1132075/1/BPD-47-online.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2026.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 175-180, 1994.

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

VILELA, L. *et al.* Calagem e adubação para pastagens. *In*: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF. 2. ed. 2004, p. 367-382.

VOGADO, R. F. *et al.* Variabilidade espacial dos estoques de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo integrados e pastagem em região de cerrado. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 9, n. 11, p.10220-10240, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10220>. Acesso em: 06 nov. 2025.

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.

WUTZLER, T. *et al.* Soil CO₂ efflux errors are lognormally distributed – implications and guidance. **Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems**., Göttingen, 9, 239–254, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gi-9-239-2020>. Acesso em: 03 nov. 2025.

ZANCHETTIN, S. **Dinâmica temporal de atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária sob plantio direto**. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/60698>. Acesso em: 17 jun. 2026.

ZANZARINI, F.V. *et al.* Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 608– 614, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/CpYNtBsHbBLS6q4K7D5gdjg/?lang=pt>. Acesso em: 29 ago. 2025.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.