



VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

Variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de solo em área de cultivo de eucalipto na Amazônia Sul Ocidental

Spatial variability of chemical and physical soil attributes in an eucalyptus cultivation area in the Southwestern Amazon.

CAVALCANTE, Petrik Alves¹; ARAÚJO, Edson Alves de¹; SOUZA, Emanuel Moraes de¹; SANTOS NETO, Jose Epitacio dos; ALMEIDA, Margarida Gama; ARAÚJO, Habacuque Elimar Costa de; OLIVEIRA, Beatriz Santos de; Rocha, Diogo Uchôa da

¹ Universidade Federal do Acre, Campus Floresta, petrik.cavalcante@sou.ufac.br ; edson.araujo@ufac.br; emanuel.souza@sou.ufac.br ; jose.epitacio@sou.ufac.br ; margarida.almeida@sou.ufac.br ; habacuque.araujo@sou.ufac.br ; santos.beatriz@sou.ufac.br ; diogo.rocha@sou.ufac.br

RESUMO EXPANDIDO

Eixo Temático: Ciência do Solo e Ecologia (Geral e vegetal)

Resumo

O estudo avaliou a variabilidade espacial do pH e da densidade do solo em área de cultivo de eucalipto na Fazenda Três Irmãos, no Acre. Para isso, foram coletadas 75 amostras em grid sistemático de 8×8 m, sendo o pH determinado em amostras de solo coletadas na profundidade de 0–20 cm, enquanto a densidade do solo foi medida em amostras indeformadas obtidas na camada superficial de 0–5 cm e posteriormente analisadas em laboratório. O pH apresentou média de 5,07, indicando solo ácido, com variações espaciais influenciadas pelo manejo e pela distribuição dos insumos aplicados na linha de plantio do eucalipto. A densidade do solo variou entre 1,33 e 1,61 g/cm³, refletindo diferenças de compactação associadas ao pastejo, ao tráfego de animais e à cobertura vegetal. A análise geoestatística permitiu mapear zonas críticas de acidez e compactação, contribuindo para o diagnóstico da área e para a recomendação de práticas de manejo mais eficientes.

Palavras-chave: pH do solo; densidade do solo; variabilidade espacial; geoestatística; manejo do solo.

Keywords: soil pH; soil bulk density; spatial variability; geostatistics; soil management.

Introdução

A análise de atributos físico-químicos do solo é essencial para compreender sua qualidade, fertilidade e capacidade produtiva, especialmente em sistemas agrícolas e pastagens. A amostragem sistemática permite identificar a variabilidade espacial desses atributos dentro do contexto da Agricultura de Precisão, que se baseia em ferramentas geoestatísticas para compreender a distribuição dos fatores que influenciam a produção (Coelho, 2003). Segundo Petersen e Calvin (1965), esse método proporciona melhor representatividade por cobrir a área de forma uniforme e reduzir o efeito da subjetividade na coleta dos dados.

Entre os atributos químicos do solo, o pH desempenha papel central, pois reflete a atividade do íon hidrogênio e influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a toxicidade de elementos como o alumínio trocável, considerado uma das principais limitações químicas em solos tropicais



VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

(Lopes, 1989; Araújo et al., 2012). Em ambientes de uso agrícola, pequenas variações no pH podem modificar profundamente o comportamento do sistema solo-planta, tornando sua avaliação espacial fundamental para um manejo mais eficiente.

No contexto dos atributos físicos, a densidade do solo é um indicador-chave da compactação, afetando a aeração, a infiltração de água e o desenvolvimento radicular. Solos com elevada densidade tendem a apresentar maior resistência ao crescimento das raízes e menor circulação de ar e água, prejudicando o desenvolvimento das plantas (Reichardt; Timm, 2008). A distribuição espacial da densidade pode refletir tanto efeitos naturais quanto impactos diretos do manejo, como pisoteio animal e tráfego de máquinas, tornando necessária sua avaliação detalhada para identificar áreas críticas.

Diante desse cenário, a presente pesquisa teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do pH e da densidade do solo em área de produção agrícola, utilizando métodos estatísticos e geoestatísticos para subsidiar práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes.

Metodologia

O estudo foi realizado na Fazenda Três Irmãos, localizada no município de Cruzeiro do Sul – AC, em área caracterizada por Latossolo Amarelo Distrófico. A amostragem sistemática foi conduzida por meio de um grid de 8x8m e composto por 75 pontos, georreferenciados previamente em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). A coleta ocorreu na profundidade de 0–20 cm, utilizando trado holandês, assegurando padronização entre os pontos. Todas as amostras foram devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal do Acre – Campus Floresta para processamento.

No laboratório, as amostras destinadas à determinação do pH foram secas em estufa a 40 °C, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, foram pesados 10 g de TFSA em copos plásticos, aos quais foram adicionados 25 mL de água destilada. A suspensão foi agitada por cerca de 60 segundos e deixada em repouso por uma hora. Após nova homogeneização, a leitura do pH foi realizada diretamente na solução utilizando eletrodo específico calibrado previamente, seguindo os procedimentos comuns de análise laboratorial.

Para a determinação da densidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas por meio de trado de Uhland equipado com anel volumétrico. As amostras foram armazenadas em recipientes rígidos para preservação da estrutura e posteriormente secas em estufa a 105 °C por 48 horas. A densidade aparente foi calculada pela razão entre a massa seca da amostra e o volume interno do anel volumétrico, conforme metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017).

Após a etapa laboratorial, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e analisados no software Jamovi, utilizando estatística descritiva e gráficos de distribuição. Para avaliar a variabilidade espacial do pH e da densidade, os valores foram incorporados ao QGIS, onde se aplicaram técnicas de interpolação,

como IDW e modelos geoestatísticos disponíveis no plugin SmartMap. A geração dos mapas permitiu identificar zonas de maior acidificação e compactação, fornecendo suporte ao diagnóstico da área.

Resultados e Discussão

Os valores de pH (H_2O) das 75 amostras variaram entre 4,42 e 5,93, com média de 5,07, caracterizando o solo como ácido, faixa típica de ambientes agrícolas tropicais. Esse comportamento é coerente com a classificação da Potash Phosphate Institute (1989), que considera pH entre 5,0 e 6,0 como acidez média, além de refletir processos naturais de acidificação descritos por Araújo et al. (2012), nos quais a decomposição da matéria orgânica libera ácidos orgânicos capazes de reduzir a saturação por bases. A distribuição espacial do pH revelou maior acidez na porção sudoeste da área, indicando dependência espacial moderada, posteriormente confirmada pelo semivariograma (Figura 1). Esses padrões sugerem influência do manejo anterior, especialmente da aplicação diferenciada de insumos como farinha de ossos, reconhecida por elevar o pH quando utilizada com período de incubação (Ferreira et al., 2014), o que ajuda a explicar pequenas elevações pontuais observadas no mapa gerado.

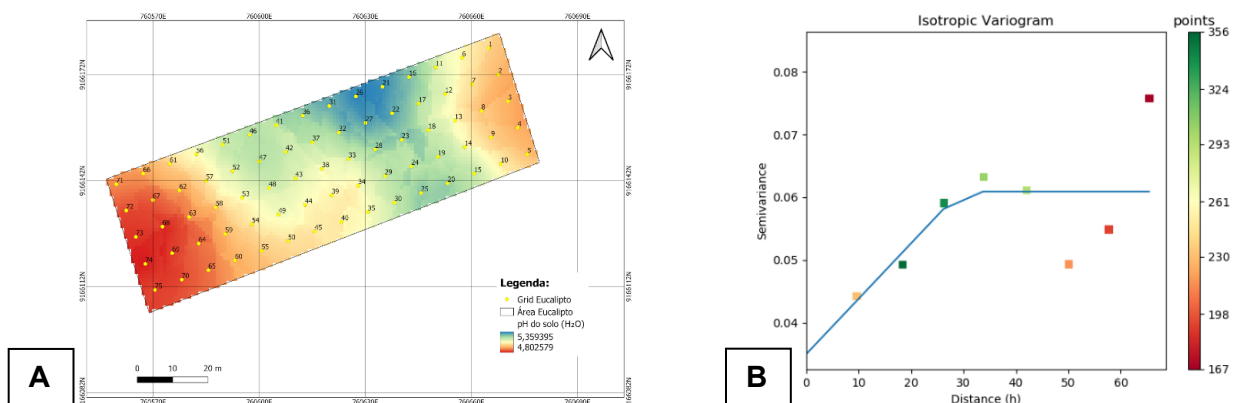


Figura 1 – A) Distribuição espacial do pH do solo (H_2O) em área de cultivo de eucalipto. B) - Semivariograma do pH do solo (H_2O). (Fonte: elaborado pelo autor).

Quanto à densidade do solo, os valores oscilaram entre 1,332249 e 1,605807 g/cm^3 , situando-se dentro da faixa observada por Reichert et al. (2016) para sistemas integrados, nos quais o pisoteio animal e o tráfego de máquinas aumentam a compactação superficial. A distribuição heterogênea registrada no grid reflete diferenças no uso e na movimentação dos animais sobre a pastagem, além dos efeitos estruturais associados ao sistema radicular da *Brachiaria decumbens*. Áreas com densidade mais alta foram identificadas principalmente no setor nordeste (Figura 3), possivelmente relacionadas à maior concentração de animais e ao pisoteio contínuo, condição que, segundo Balbino et al. (2011), pode elevar a densidade acima de 1,5 g/cm^3 e reduzir a infiltração de água. Em contrapartida, valores menores observados em pontos específicos podem estar associados à maior presença de matéria orgânica proveniente da deposição de dejetos, que pode atenuar a compactação (Anghinoni et al., 2013).

O semivariograma de densidade (Figura 3) mostrou aumento da

semivariância com a distância, indicando dependência espacial, mas também maior incerteza para estimativas em longas distâncias. Esse comportamento reforça a influência combinada de fatores de manejo, principalmente o pastejo, que modifica a estrutura superficial do solo ao longo do tempo. Além disso, as diferenças observadas demonstram que a compactação não ocorre de forma uniforme, sendo intensificada em zonas preferenciais de circulação e descanso dos animais, o que justifica a heterogeneidade identificada.

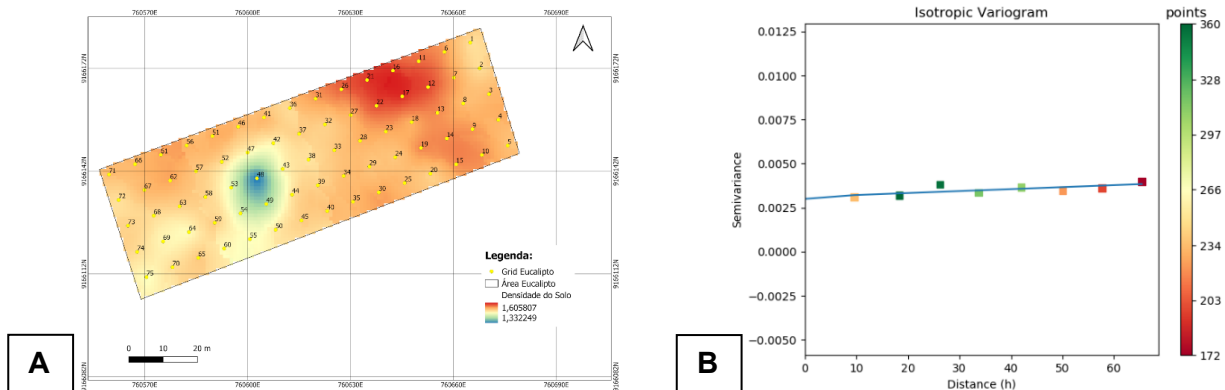


Figura 3 – A) Distribuição espacial da densidade do solo em grid de Eucalipto. (Fonte: elaborado pelo autor); B) Semivariograma da densidade do solo. (Fonte: elaborado pelo autor).

As análises estatísticas realizadas no Jamovi permitiram avaliar detalhadamente o comportamento do pH do solo, destacando sua baixa dispersão em torno da média de 5,07, conforme observado na estatística descritiva apresentada. A interpretação gráfica dos resultados (Figura 5) confirma essa tendência: o box plot evidencia distribuição estreita, indicando pequena amplitude entre quartis e poucos valores atípicos, enquanto o Q-Q plot mostra alinhamento consistente dos pontos ao longo da linha teórica, sugerindo que o pH se aproxima de uma distribuição normal. O histograma complementa essa interpretação ao apresentar uma curva suavemente assimétrica, com maior concentração de valores entre 4,8 e 5,6, reforçando o padrão de acidez moderada já identificado nos mapas gerados. Em conjunto, esses gráficos demonstram que o pH possui variabilidade moderada e comportamento estatístico estável, permitindo maior confiança nas inferências espaciais realizadas sobre sua distribuição.

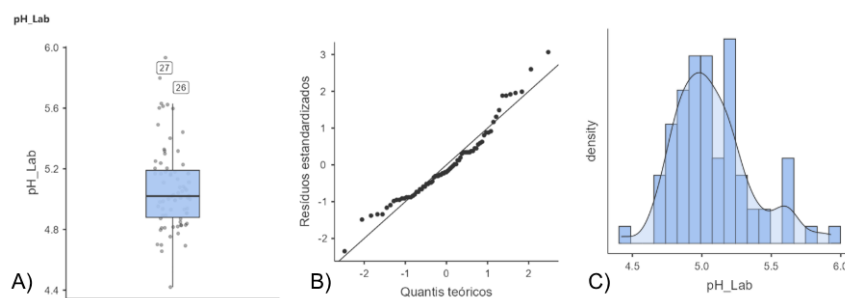


Figura 5 - Gráficos de pH (H₂O). A) Box plot; B) Q-Qplot; C) Histograma.

Para a densidade do solo, a análise estatística evidenciou média de 1,52 g/cm³, com desvio padrão de 0,0806, indicando baixa variabilidade entre as

amostras. Os gráficos apresentados (Figura 6) reforçam esse padrão: o box plot revela distribuição compacta com pequena dispersão interquartil e valores extremos pouco pronunciados, sinalizando relativa homogeneidade estrutural na área de estudo. O Q-Q plot mostra forte aderência à distribuição normal, com apenas leve divergência nos extremos superiores, sugerindo que a compactação mais elevada é restrita a algumas regiões específicas. O histograma apresenta formato simétrico e concentra a maior parte dos valores próximos à média, demonstrando que a densidade segue padrão estatístico previsível e coerente com ambientes sob influência de pastejo. Esses resultados confirmam que, embora a distribuição espacial revele pontos de compactação mais intensa, o comportamento estatístico geral da densidade é uniforme, fortalecendo a precisão dos modelos geoestatísticos aplicados.

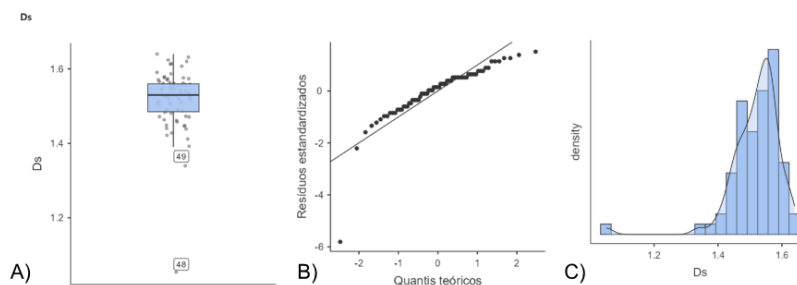


Figura 6 - Gráficos de densidade do solo. A) Box plot; B) Q-Qplot; C) Histograma.

A relação entre pH e densidade evidencia que áreas de acidez mais elevada não coincidiram necessariamente com regiões de maior compactação, indicando que esses atributos respondem a processos distintos: o pH está mais relacionado à dinâmica química e às práticas de fertilidade, enquanto a densidade reflete predominantemente pressões físicas do uso da terra. A utilização combinada de interpolação e geoestatística permitiu compreender com precisão a distribuição espacial desses parâmetros, contribuindo para o diagnóstico da área e subsidiando decisões de manejo voltadas à correção da acidez e à mitigação da compactação do solo.

Conclusões

Os resultados evidenciaram que o pH apresentou acidez moderada com padrão espacial definido, enquanto a densidade do solo revelou heterogeneidade influenciada principalmente pelo pisoteio animal e pelo uso da pastagem, indicando pontos críticos de compactação. A aplicação das técnicas geoestatísticas permitiu compreender a distribuição espacial desses atributos, identificando áreas que demandam correções específicas, seja para mitigação da acidez ou para redução da compactação. Dessa forma, o estudo demonstra que a avaliação integrada de pH e densidade, aliada a ferramentas de agricultura de precisão, é fundamental para orientar práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis, garantindo melhor desempenho produtivo da área analisada.

Referências bibliográficas

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. D. F.; COSTA, S. D. A. Abordagem sistêmica do



VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. 2, p. 325-380, 2013.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO, S. V.; MORAES, A. D.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. i-xii, 2011.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: _____. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 249-290.

FERREIRA, A. V. L.; FERREIRA, E.; CAVALI, J.; PORTO, M. O.; STACHIW, R. Farinha de ossos calcinada. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 29-36, 2014.

LOPES, A. S. (trad. e adap.). **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153 p.

PETERSEN, R. G.; CALVIN, L. D. Sampling. In: BLACK, C. A. (ed.). **Methods of Soil Analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p. 54-71.

POTASH PHOSPHATE INSTITUTE. Manual internacional de fertilidade do solo. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1989. 177p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2008.
