



DISTRIBUIÇÃO VERTICAL E TOPOGRÁFICA DA ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁREA SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Anna Júlia Silva Martins ¹
Eliziane Pinheiro de Oliveira ²
Bruno dos Santos Lemes ³
Yasmmin Tadeu Costa ⁴

RESUMO

A agricultura conservacionista, como o Sistema Plantio Direto (SPD), revolucionou a forma de cultivo a partir da década de 1970. Esse sistema tem como princípio a manutenção de cobertura morta sobre o solo. Além disso, evita-se o revolvimento, exceto na linha de semeadura, e promove-se a diversificação por meio da rotação de culturas. A qualidade do solo pode ser estimada por técnicas que avaliam suas características físicas em resposta aos sistemas de manejo adotados. Nesse contexto, a estabilidade de agregados é um importante indicador, pois reflete a organização entre a parte sólida e os vazios nos agregados, permitindo a análise de sua resistência a agentes desestabilizantes. A dinâmica pedogeomorfológica, por sua vez, pode envolver processos que afetam a agregação, como a erosão. O objetivo deste trabalho foi verificar se há variação na proporção de agregados conforme a profundidade e a posição ao longo de uma vertente sob sistema plantio direto. A área de estudo está localizada na região centro-sul do estado do Paraná (Brasil), a 1120 m de altitude, em uma bacia de ordem zero com aproximadamente 1 hectare. Esse recorte integra a área experimental da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus CEDETEG, em Guarapuava. A vertente apresenta inclinação suave de 3%. O solo foi coletado em três setores (alta, média e baixa vertente), com três trincheiras em cada um (Figura 1). Foram escavadas nove trincheiras com 30 cm de comprimento e 25 cm de profundidade. As amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 50 cm³ nas profundidades de 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm e 15–20 cm, totalizando 36 amostras (3 setores × 3 trincheiras × 4 profundidades). Como área de referência, utilizou-se uma floresta secundária situada na mesma unidade pedogeomorfológica, com coleta em três trincheiras. As amostras indeformadas foram submetidas ao peneiramento seco, sendo calculado o diâmetro médio ponderado (DMP), em milímetros, conforme a equação: $DMP = \frac{\sum (ix \times iy)}{\sum iy}$, em que ix representa o diâmetro médio da classe de agregados (mm), e iy, a proporção de agregado retido em cada classe em relação à amostra total. Os resultados indicam que a estabilidade dos agregados do solo, expressa pelo DMP, variou significativamente entre as posições na vertente e

¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), autorprincipal@email.com;

² Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), elizianepinheiro356@gmail.com;

³ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), brunollemmes@gmail.com;

⁴ Doutora em Geografia e professora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), yasmmintadeucosta@gmail.com;



entre as profundidades analisadas. O maior valor observado foi na camada de 5–10 cm da floresta (6,25 mm), apontando para alta estabilidade estrutural sob cobertura florestal. Em contraste, os valores no SPD não seguiram um padrão regular com a profundidade, sugerindo a atuação de processos erosivos e deposicionais na redistribuição de agregados ao longo da vertente. Destaca-se, ainda, o maior DMP encontrado na camada superficial da vertente baixa sob SPD (6,82 mm), possivelmente associado ao acúmulo de materiais transportados da parte superior da encosta. Esses achados reforçam a influência do relevo na organização estrutural do solo, mesmo em áreas sob manejo conservacionista.

INTRODUÇÃO

A agricultura conservacionista, como o Sistema Plantio Direto (SPD), revolucionou a forma de cultivo a partir dos anos de 1970. Esse sistema tem como princípio a manutenção de cobertura morta sobre o solo. Além disso, evita-se o revolvimento, exceto na linha de semeadura e há diversificação através da rotação de culturas (DE MORAES SÁ, et al. 2022). O não revolvimento irá favorecer a qualidade do solo, uma vez que ao preservar a estrutura, mantém os elementos químicos e a matéria orgânica (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). O que flerta com a ideia de sustentabilidade da agricultura, preservando a qualidade do solo.

A qualidade do solo pode ser estimada através de técnicas que avaliam suas características físicas em resposta aos sistemas de manejo adotados (COSTA et al., 2003), nesse quesito a estabilidade de agregados é um importante indicador, uma vez que contempla a organização entre a parte sólida e os vazios dos agregados, permitindo análise da sua resistência perante agentes desestabilizantes. Diante da perspectiva agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, pois influencia diretamente a disponibilidade de ar e água para as raízes, o fornecimento de nutrientes, a resistência do solo à penetração e o desenvolvimento do sistema radicular (PERUSI; CARVALHO, 2008). Nesse contexto, atribui-se mais uma constante ao sistema, que seriam as variações topográficas, pois, a dinâmica pedogeomorfológica pode envolver processos que influenciam na agregação, como a erosão e por consequência o desprendimento e transporte de partículas.

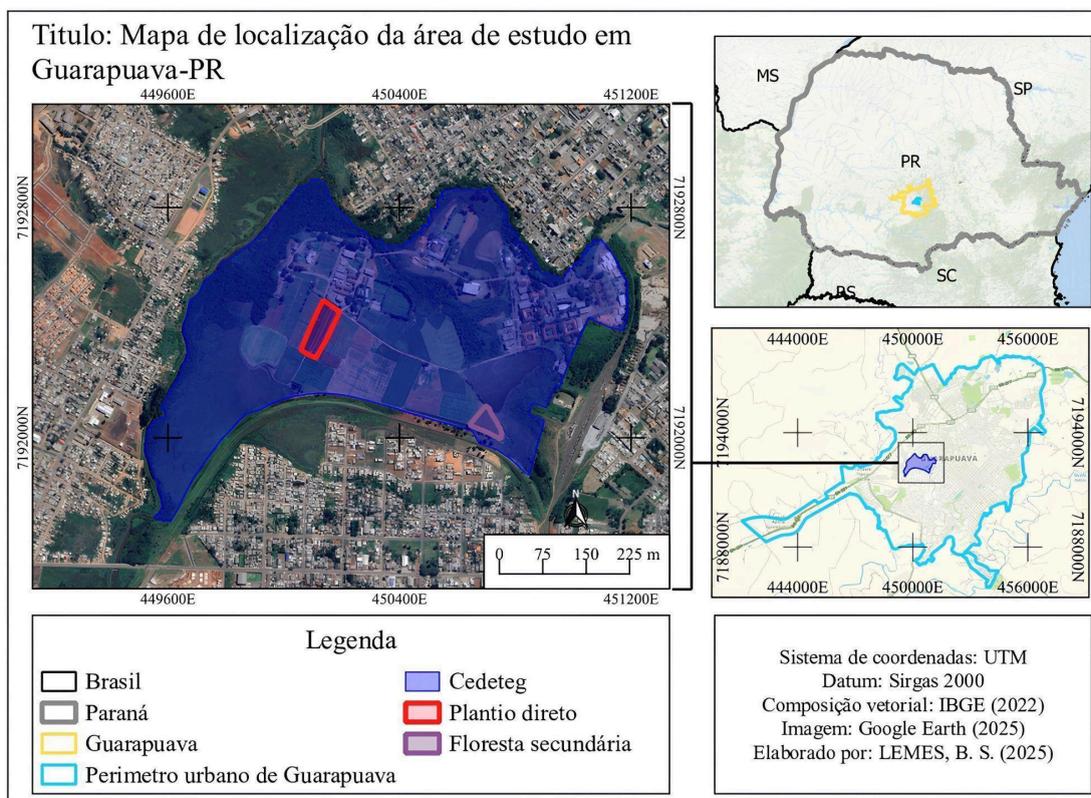
A erosão hídrica, por exemplo, é um processo complexo que se manifestará em intensidade variável, levando em consideração o clima, solo, topografia, vegetação e uso do solo, além das práticas relacionadas ao manejo (SCHICK et al. 2000). Assim, ainda, que submetidos ao mesmo sistema de manejo, solos localizados em áreas com pequenas variações de relevo apresentam distinta variabilidade espacial de seus

atributos (SOUZA; MARQUES JUNIOR; PEREIRA, 2004). Mesmo em sistema de plantio conservacionista, pode haver transporte de solo devido a energia natural exercida através da gravidade no relevo. Portanto, o objetivo deste trabalho é verificar se há variação na proporção de agregados conforme a profundidade e a posição da vertente em sistema plantio direto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na região centro-sul do estado do Paraná-Brasil, com altitude de 1120 m em relação ao nível do mar. Ela corresponde a uma bacia de ordem zero, com cerca de 1 hectare de extensão, situada na área experimental da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), no Campus CEDETEG, município de Guarapuava (Figura 1).

Figura 1- Localização da área de estudo.



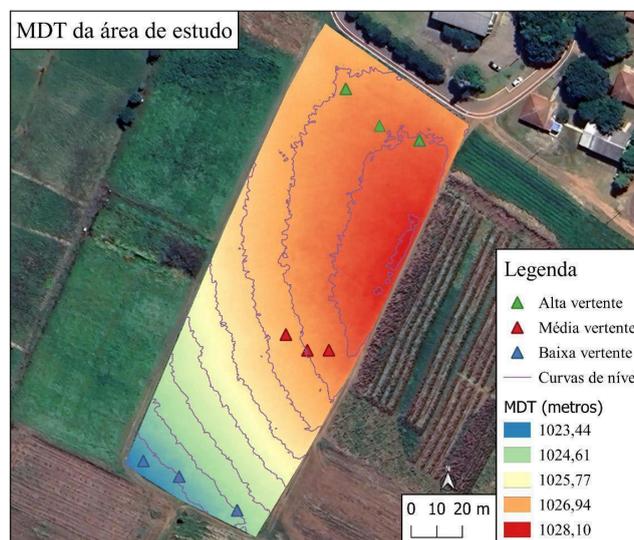
Fonte: Lemes, B.S, 2025.

O solo é classificado como Latossolo Bruno distrófico alumínico, de textura argilosa, com teores de 560 g kg^{-1} de argila, 180 g kg^{-1} de areia e 260 g kg^{-1} de silte. O clima da região é mesotérmico, típico de zonas extratropicais, com temperaturas médias anuais variando entre 16°C e 20°C . O inverno é frio e o verão, amenizado pela altitude. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano, com média anual de cerca de 1.961 mm (THOMAZ; VESTENA, 2003).

A área encontra-se sob manejo de Sistema Plantio Direto (SPD) há oito anos, com adoção de rotação de culturas. Nos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024, foram cultivados milho e aveia-preta no inverno de 2022, seguidos por milho e soja no verão de 2023, e trigo no inverno do mesmo ano. Na safra atual (2024/2025), a área segue cultivada com milho e soja no verão.

A Figura 2 apresenta o Modelo Digital do Terreno (MDT), com resolução espacial de 1×1 metros, obtido a partir de uma nuvem de pontos LIDAR adquirida em 2018. O relevo apresenta uma inclinação média de aproximadamente 5,4%, enquanto a inclinação da rampa, considerando o desnível e o comprimento horizontal, é de 2,5%.

Figura 2- Pontos de coleta de solo na vertente.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O solo foi coletado em três setores ao longo da vertente sob Sistema Plantio Direto (SPD): topo, meia encosta e base. Em cada setor foram abertas três trincheiras, totalizando nove unidades amostrais (Figura 2). As trincheiras apresentavam dimensões



aproximadas de 30 cm de comprimento por 25 cm de profundidade. As amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 50 cm³ nas profundidades de 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm e 15–20 cm, totalizando 36 amostras (3 setores × 3 trincheiras × 4 profundidades).

Como área de referência, foi selecionada uma floresta secundária situada na mesma unidade pedogeomorfológica. Nessa área, foram abertas três trincheiras e coletadas amostras indeformadas seguindo os mesmos critérios descritos anteriormente.

As amostras foram submetidas ao peneiramento seco para avaliação da estabilidade dos agregados. O parâmetro adotado foi o diâmetro médio ponderado (DMP), calculado conforme a equação:

$$\text{DMP} = \Sigma (ix \times iy)$$

onde:

DMP = Diâmetro Médio Ponderado;

ix = Diâmetro médio da classe de agregados (em mm);

iy = Proporção de agregado retido em cada classe em relação à amostra total.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (média e desvio padrão), seguida de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Tukey, considerando amostras independentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estabilidade dos agregados do solo, expressa pelo diâmetro médio ponderado (DMP), variou significativamente entre as posições topográficas e profundidades analisadas (Tabela 1). O maior valor de DMP foi registrado na camada de 5–10 cm da floresta secundária (6,25 mm), refletindo elevada estabilidade estrutural sob cobertura vegetal contínua.

Em contraste, os valores observados nas áreas sob Sistema Plantio Direto (SPD) não apresentaram um padrão vertical regular, sugerindo a atuação de processos erosivos e deposicionais na redistribuição de agregados ao longo da vertente. Destaca-se o DMP mais elevado na camada superficial (0–5 cm) da vertente baixa sob SPD (6,82 mm), o

que possivelmente se relaciona ao acúmulo de materiais transportados das partes superiores da encosta.

Na mesma profundidade, o DMP observado no SPD da vertente baixa foi 39,59% superior ao valor registrado na floresta secundária, indicando que a interação entre manejo, posição na vertente e dinâmica de cobertura vegetal pode favorecer a agregação do solo, mesmo em áreas de relevo suave. Segundo Costa et al. (2003), o SPD promove melhorias nas condições estruturais do solo, como aumento da estabilidade dos agregados na superfície e redução da densidade na subsuperfície. O que contribui para maior capacidade de suporte e menor propensão à compactação (LIEBHARD et al., 2025).

Tabela 1 - Diâmetro médio ponderado (mm) da área de floresta e SPD.

Profundidade	Floresta (Controle)	Alta Vertente	Média Vertente	Baixa Vertente
0-5 cm	4,12 ± 0,10 A	5,47 ± 0,53 B	5,91 ± 1,39 C	6,82 ± 1,23 D
5-10 cm	6,25 ± 0,21 D	5,99 ± 1,36 C	5,45 ± 0,78 A	5,81 ± 0,05 B
10-15 cm	5,88 ± 0,58 C	5,33 ± 0,18 B	5,11 ± 0,91 A	5,11 ± 0,59 A
15-20 cm	5,36 ± 0,82 B	5,90 ± 0,66 D	5,20 ± 0,89 A	5,60 ± 0,51 C

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Nota: médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

A distribuição espacial dos agregados, mesmo considerando diferentes classes de tamanho, não ocorre de forma aleatória. Ela reflete tanto os processos naturais de formação e reorganização do solo quanto às práticas de manejo adotadas (CARVALHO; DECHEN; DUFRANC, 2004). Os resultados sugerem que o manejo agrícola, mesmo sob variações topográficas, pode desempenhar papel relevante na manutenção da qualidade estrutural do solo.

A compreensão da interação entre estabilidade de agregados, relevo e práticas de manejo permite avaliar com maior precisão os efeitos do uso da terra sobre a estrutura física do solo. Isso porque os atributos físicos e químicos do solo são diretamente



influenciados pelo histórico de uso e pela intensidade das intervenções antrópicas (VIEIRA et al., 2011).

Além disso, dado o papel dos agregados na proteção do carbono orgânico, é importante aprofundar estudos que avaliem a variação espacial do carbono em diferentes sistemas de uso e posições na paisagem. Essa abordagem pode ampliar o entendimento sobre a resiliência estrutural e funcional do solo em manejo conservacionista.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que o Sistema Plantio Direto contribui para a proteção da estrutura do solo, favorecendo a estabilidade dos agregados em razão da cobertura vegetal permanente. No entanto, os agregados de maiores dimensões não apresentaram distribuição espacial uniforme, e as diferenças significativas entre posições topográficas e profundidades sugerem que o relevo interfere diretamente na estrutura do solo, mesmo em condições de manejo conservacionista, por meio de processos erosivos e deposicionais.

A comparação com a floresta secundária possibilitou avaliar o grau de alteração estrutural do solo em uso agrícola, servindo como importante referência para análises da qualidade física. Esses achados reforçam a necessidade de considerar o relevo no planejamento do uso e manejo do solo. Além disso, estudos futuros que integrem a estabilidade dos agregados à dinâmica do carbono podem ajudar na compreensão sobre a resiliência dos solos cultivados diante de problemas ambientais e antrópicos.

Palavras-chave: Agregados do solo, Relevo, Distribuição espacial.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida aos autores mestrando.

REFERÊNCIAS



CARVALHO, JRP de; DECHEN, S. C. F.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial da agregação do solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1-9, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100001>

COSTA, F. de S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 27, p. 527-535, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300014>

DE MORAES SÁ, João Carlos; BRIEDIS, Clever; FERREIRA, Ademir de Oliveira. Manejo do carbono como componente chave do Sistema Plantio Direto. In: **Sistema Plantio Direto no Brasil** [livro eletrônico]. 1. ed. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte Editora, 2022. Cap. 1. Disponível em formato PDF. ISBN 978-65-87818-01-6.

LIEBHARD, Gunther et al. Developing topsoil structure through conservation management to protect subsoil from compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 253, p. 106669, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106669>

PERUSI, Maria Cristina; CARVALHO, Wolmar Aparecida. comparação de métodos para determinação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Geociências**, v. 27, n. 2, p. 197-206, 2008.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 427-436, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200019>

SOUZA, Zigomar Menezes de; MARQUES JÚNIOR, José; PEREIRA, Gener Tadeu. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 491-499, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X200400050001>

THOMAZ, Edivaldo Lopez; VESTENA, Leandro R. Aspectos climáticos de Guarapuava-PR. *Guarapuava: Unicentro*, p. 106, 2003.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, p. 743-755, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>

VIEIRA, Sidney Rosa et al. Spatial variability of soil physical and chemical attributes related to aggregation status of two oxisols under no-tillage of the State of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, v. 70, p. 185-195, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100025>