

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DE UM SISTEMA PEDOLÓGICO DERIVADO DA FORMAÇÃO GOIO ÊRE NO MUNICÍPIO DE CRUZEIRO DO SUL, PARANÁ, BRASIL

Characterization of the physical-hydric behavior of a pedological system derived from the Goio Êre formation in the municipality of Cruzeiro do Sul, Paraná, Brazil

Gustavo Henrique Andrade da Cruz

Universidade Estadual de Maringá – UEM
 gusttavohnq@gmail.com

Hélio Silveira

Universidade Estadual de Maringá – UEM
 hesilveira70@hotmail.com

Francieli Sant'ana Marcatto

Universidade Estadual de Maringá - UEM
 fran_marcatto@hotmail.com

Resumo: A cobertura pedológica de origem arenítica na mesorregião Noroeste do estado do Paraná apresenta alta vulnerabilidade à erosão, seja por sua natureza, seja pela intensificação desses processos por práticas agrícolas impostas pelo homem. Devido a isto, faz necessário compreender de maneira integrada o comportamento físico-hídrico dos solos ao longo da vertente, uma vez que esses estudos podem servir como subsídio para a tomada de decisões de ações mitigatórias e que visam a conservação dos solos. Nessa perspectiva, este estudo tem por objetivo compreender os efeitos do cultivo da cana-de-açúcar sobre a dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos derivada de arenito da formação Goio Êre, e estabelecer a sua relação com o surgimento da área degradada face ao desenvolvimento de feições erosivas. Para tanto, adotou-se como embasamento metodológico parte da análise estrutural da cobertura pedológica, de maneira conjunta a análises laboratoriais de parâmetros físicos e hídrico. Os resultados indicam que o cultivo da cana-de-açúcar, aliada com as características morfológicas da vertente, foi o principal propulsor da degradação da cobertura pedológica que reveste a vertente, uma vez que a adoção do sistema de manejo em questão foi responsável por exercer mudanças significativas no sistema poroso dos horizontes pedológicos analisados, principalmente nos subsuperficiais, que, ao congregarem com o aumento de declividade que ocorre a partir da média vertente, favorecem a intensificação dos fluxos hídricos laterais e o desenvolvimento de feições erosivas nesse segmento da vertente. Contudo, a interação sistêmica dos solos ao longo da topossequência faz com que tais alterações ocorridas na alta e média vertente também se reflitam diretamente no sopé da vertente, que apresenta solos naturalmente mais suscetíveis à erosão (Argissolo e Neossolo Quartzarênico).

Palavras-Chave: Solos. Uso e manejo. Erosão. Área degradada.

Abstract: The pedological cover of sandstone origin in the Northwest mesoregion of the state of Paraná presents high vulnerability to erosion, either by its nature or by the intensification of these processes by agricultural practices imposed by man. Due to this, it is necessary to understand in an integrated way the physical-water behavior of the soils along the slope, since these studies can serve as a support for decision-making on mitigating actions aimed at soil conservation. From this perspective, this study aims to understand the effects of sugarcane cultivation on the physical-water dynamics of a topossequence of soils derived from sandstone from the Goio Êre formation, and to establish its relationship with the emergence of the degraded area facing the development of erosive features. To this end, part of the structural analysis of pedological coverage was adopted as a methodological basis, together with laboratory analyzes of physical and water parameters. The results indicate that the cultivation of sugar cane, combined with the morphological characteristics of the slope, was the main driver of the degradation of the soil cover that covers the slope, since the adoption of the management system in question was responsible for exerting significant changes in the porous system of the pedological horizons analyzed, mainly in the subsurface, which, when combined with the increase in slope that occurs from the middle slope, favor the intensification of lateral water flows and the development of erosive features in this segment of the slope. However, the systemic interaction of soils along the topossequence means that such changes that occur on the upper and middle slopes are also directly reflected at the foot of the slope, which has soils that are naturally more susceptible to erosion (Argisol and Quartzarenic Neosol).

Keywords: Soils. Use and management. Erosion. Degraded area.

INTRODUÇÃO

A expansão agrícola impulsionou a ocupação e o desenvolvimento econômico da mesorregião Noroeste do estado Paraná. Inicialmente, essa expansão se fundamentou na monocultura do café e na facilidade de acesso às terras por empresas colonizadoras privadas, especialmente pela Companhia de Terras do Norte do Paraná, de codinome CTNP, que a partir da década de 1940 passou a ser denominada como CMNP (Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná) (Serra, 2022).

A partir da década de 1970, com a crise e a erradicação dos cafezais, em área sobre domínio de solos de origem areníticas, as lavouras de café cederam espaço para a pastagem plantada, voltada para o gado de corte (Fonseca; Serra, 2019). Em seguida, novas transformações ocorreram a partir da década de 1990, quando já se observava a implantação de lavouras de cana-de-açúcar em função da instalação de usinas de álcool na mesorregião, que tinham por objetivo atender a nova economia de mercado (Serra, 2010).

Contudo, a cobertura pedológica derivada de formação arenítica que se predomina na mesorregião é suscetível a processos erosivos, seja pela sua natureza, uma vez que apresenta textura arenosa fina (Cunha, 2008), ou pelas alterações significativas exercidas pelas formas de ocupação e utilização econômica em que o solo é atribuído, as quais, na maioria das vezes, não são tomadas medidas conservacionistas (Bigarella; Mazuchowski, 1985; Muzilli et al., 1989).

Por conseguinte, a principal problemática envolvida entre as práticas de manejo com as alterações físicas do solo é a compactação, expressa pela densidade do solo, cujo é responsável por promover a diminuição do volume total de poros (porosidade total) e da macroporosidade em relação a microporosidade, que por vez, resulta na diminuição da infiltração da água no solo (Silva, 1980; Borges; Kiehl; Souza, 1999; Ramos et al., 2010; Pizarico et al., 2013), fazendo com que ocorra a concentração dos fluxos hídricos superficiais, predispondo-os à erosão hídrica (Bertol et al., 2001). Ainda, isso faz com que os solos apresentem alta variabilidade espacial de suas propriedades físicas, que estão diretamente relacionadas às suas características de origem e às condições de manejo às quais são submetidos (Brady, 1989; Grego; Vieira, 2005).

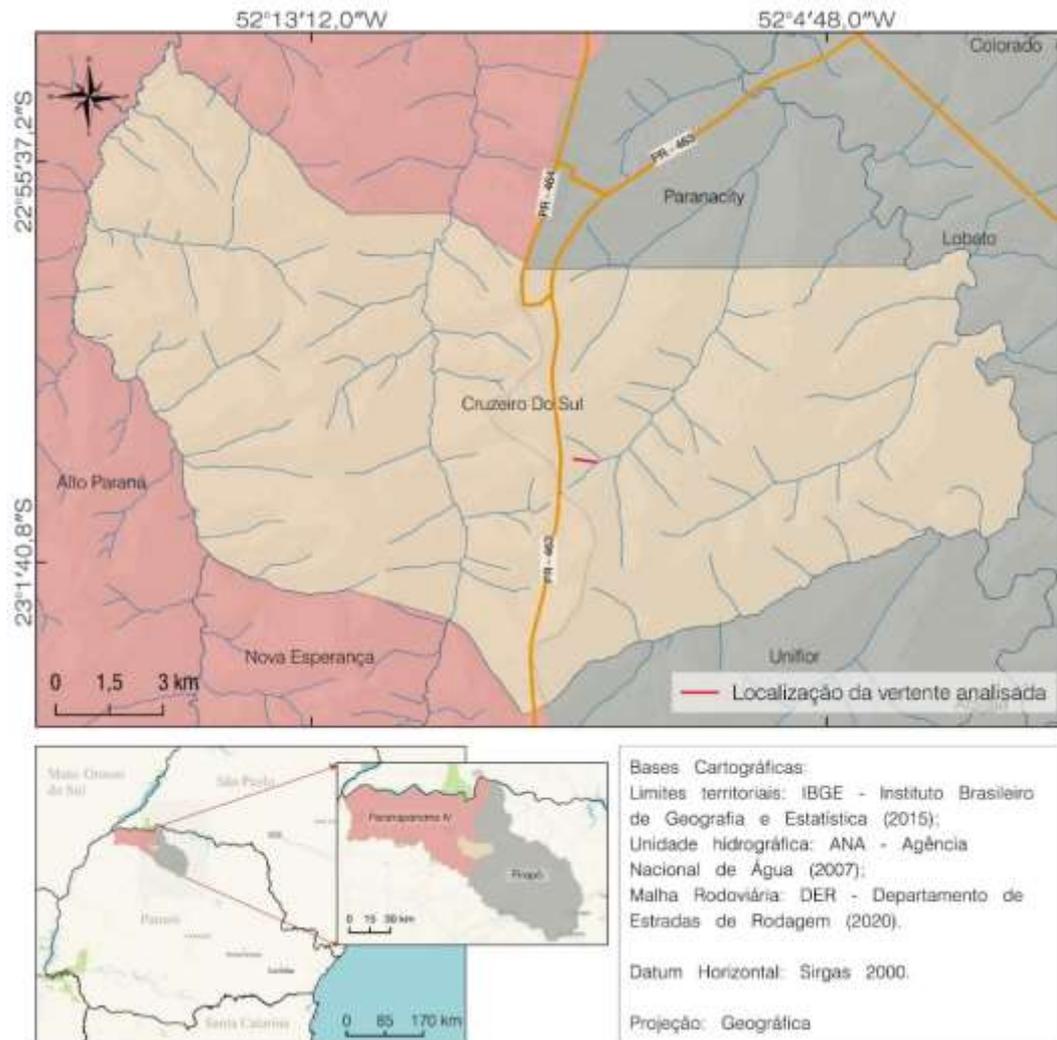
Nessa perspectiva, se por um lado as constantes mudanças na paisagem agrícola deram suporte para a ocupação e o desenvolvimento econômico dessa mesorregião, por vez, a utilização de forma desordenada do solo, sem preocupação com futuros problemas ambientais, resultou, e tem resultado, no surgimento de diversos processos de degradação ambiental, com

destaque para a erosão. Dessa maneira, faz-se necessário a realização desses estudos que visam compreender a relação sistêmica do comportamento físico e hídrico dos solos ao longo da vertente, uma vez que podem servir como orientação para ações mitigatórias face a degradação dos solos, auxiliando no processo de planejamento e gestão ambiental.

Frente ao que foi apresentado, este estudo tem por objetivo compreender os efeitos do cultivo da cana-de-açúcar sobre a dinâmica físico-hídrica de uma toposequência de solos derivada de arenito da formação Goio Êre, e estabelecer a sua relação com o surgimento da área degradada face ao desenvolvimento de feições erosivas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O local experimental onde foi conduzido o estudo está situado no médio/baixo compartimento da bacia hidrográfica do rio Pirapó, em Cruzeiro do Sul, município inserido na mesorregião Noroeste do estado do Paraná. Especificamente, a vertente analisada se limita entre as latitudes de 23°00'07,31'' e 23°00'09,90'' sul, e as longitudes de 52°08'55,05'' e 52°08'34,58'' oeste (Figura 1).

Figura 1: Localização da área de estudo

Fonte: Os autores (2023).

A geologia local é composta por rochas da formação Goio Erê, pertencente ao Grupo Caiuá. Geneticamente essa formação provém de depósitos eólicos às margens de um *sand sea*, caracterizada por apresentar arenitos quartzosos de cor marrom-avermelhado a cinza-arroxeadado, de granulometria fina a muito fina, casualmente média. Apresenta estratificações cruzadas de médio e pequeno porte (até 3m), alternadas, do tipo acanalado ou tabular tangencial na base (Fernandes; Coimbra, 1994).

Sobre essa unidade litoestatigráfica se prevalece a formação um sistema pedológico composto por Latossolo-Argissolo, sendo ambos de textura média. O Latossolo recobre os topos dos geralmente largos e arredondados interflúvios, onde o relevo apresenta menor grau de dissecação, com declividade inferior à 8%. A partir da média vertente e seguindo o entalhamento da rede de drenagem, a cobertura latossólica é sucedida pelo Argissolo, que

geralmente está vinculado à ocorrência de relevo ondulado (declividade de 8 a 20%) (Embrapa, 2008).

Em relação aos aspectos fitogeográficos, segundo Roderjan et al. (2002) a área está originalmente sobre domínio da Floresta Estacional Semidecidual. As árvores dessa unidade fitogeográfica são caracterizadas por perderem de 20 a 50% de sua cobertura foliar em períodos desfavoráveis, que decorrem de eventuais geadas ao longo dos anos e de períodos de estresse hídrico no período do inverno. Porém, somente o sopé da vertente permanece atualmente recoberto por um remanescente da formação vegetal original, uma vez que está inserida dentro dos limites de uma RPPN (Reserva Particular de Patrimônio Natural).

Após uma análise prévia de produtos cartográficos que representassem os aspectos físicos e socioeconômicos da área, precedida à realização de um campo de reconhecimento - observação *in loco*, foi selecionada uma vertente característica da região para a realização do presente estudo, cujo é composta por um sistema pedológico derivado de formação arenítica (Fm. Goio Erê). Quanto ao uso da terra, atualmente a vertente encontra-se ocupada por pastagem plantada, voltada para a criação de gado de corte. Contudo, uma parcela significativa da área teve como uso pretérito a cana-de-açúcar, entre os anos de 2007 e 2016, ao qual o manejo era realizado com a utilização de máquinas e implementos agrícolas, enquanto a colheita era efetuada de modo manual após a queima da palhada.

O reconhecimento dos solos foi realizado por meio do estudo de topossequência, a partir da realização de sondagens a trado e a abertura de trincheiras, seguindo, desse modo, os preceitos da Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica, preconizada por Boulet, Humbel e Lucas (1982). Enquanto o levantamento topográfico da vertente foi realizado com o auxílio de um clinômetro, metro e trena, por intermédio da medição dos ângulos de inclinação e elevação do terreno, conforme descrito por Marques, Santil e Cunha (2000).

Dessa maneira, a partir do levantamento topográfico, foi identificada a organização e as suas transições verticais e laterais dos horizontes pedológicos ao longo do declive, por meio de sondagens realizadas à trado. Durante as tradagens foram coletadas amostras com estrutura deformada a cada 10 cm de profundidade.

Com base na morfopedologia da vertente, foram selecionados seis pontos para a abertura de trincheiras, em que foi possível realizar a análise morfológica de cada horizonte pedológico encontrado (cor, textura, estrutura e consistência), seguido da coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada para análise laboratorial de parâmetros físicos e hídrico, conforme os critérios estabelecidos por Santos et al. (2015).

Destaca-se que a heterogeneidade das características físico-hídrica dos solos agricultáveis, constantemente submetidos ao revolvimento por máquinas agrícolas, levou a coletada das amostras indeformadas (em cilindros volumétricos com 143 cm³) de maneira quadruplicada em cada horizontes pedológicos descritos em campo, de modo a assegurar que as médias obtidas a partir dos resultados analíticos laboratoriais fossem, de fato, representativas.

Para todos os experimentos laboratoriais adotou-se como embasamento metodológico o Manual Técnico de Análise de Solos, descrito pela Embrapa (2017), e foram executados no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia (DGE) da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Assim, em laboratório, as amostras com estrutura deformada, coletadas tanto nas sondagens quanto nas trincheiras, foram submetidas à análise de granulometria pelo método da pipeta, onde foi determinada a proporção das frações minerais de tamanho areia (areia total), silte e argila. Com dos resultados analíticos granulométricos referentes as amostras coletadas à trado, ainda foi possível confeccionar o perfil com curvas de isovalores a partir da combinação de três *softwares*: o *AutoCAD LT 2023*, em que foi plotado os resultados analíticos em pontos georreferenciados; o *Surfer 16*, que realizou a interpolação dos valores; e o *Corel Draw 2020*, no qual se arquitetou o layout final dos perfis a partir da interpretação e delineamento das curvas obtidas com o software anterior.

Já as amostras com estrutura preservada, coletadas em quadruplicadas em cada horizonte de solo descrito em campo, foram utilizadas para a determinação do parâmetro hídrico de condutividade hidráulica saturada (Kfs), com carga constante. Além disso, também foram atribuídas à análise dos parâmetros físicos de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt), mediante a adoção do método da mesa de tensão, bem como da densidade do solo (Ds), com a adoção do método do anel volumétrico.

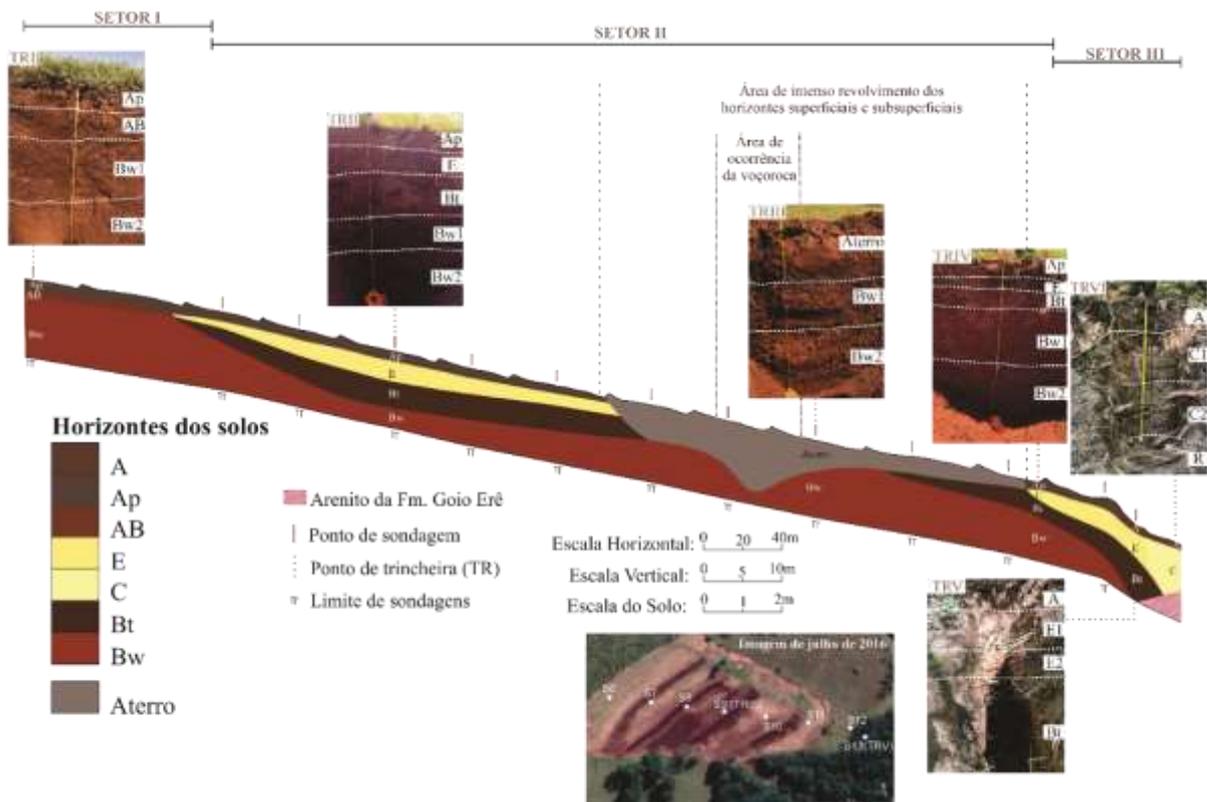
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A topossequência de solos apresenta uma extensão de 601,0 m e um desnível altimétrico de 68,0 m, lhe conferindo uma declividade média de 11,3%. Possui morfologia predominantemente retilínea no alto e médio segmento, e que se torna côncava no sopé. Dessa maneira, com base nos dados morfológicos, a vertente foi compartimentada em três setores (I, II e III), correspondentes ao seu alto, médio e baixo segmento, respectivamente.

Atualmente a área agricultada da propriedade (setor I e II) comporta o uso de pastagem plantada. Entretanto, entre o período de 2007 e 2016 esses setores tinham como uso o cultivo da cana-de-açúcar, com exceção dos seus últimos 20 m que comporta o uso de pastagem desde a erradicação dos cafezais na década de 1970 (Figura 2).

O setor I da topossequência, ponto em que foi aberta a trincheira I (TRI), possui declividade média de 4,3% e morfologia retilínea planar, o que facultam a formação de um Latossolo Vermelho com a sequência vertical dos horizontes pedológicos Ap, AB e Bw. Em direção a jusante da vertente, no setor II ocorre o aumento gradativo da declividade (10,4%) juntamente com mudança de morfologia, resultando predominantemente em retilínea convergente (Figura 2).

Figura 2: Representação esquemática da topossequência analisada



Fonte: Os autores (2023).

Em 2016 houve o desenvolvimento de expressivas feições erosivas ao longo da vertente, tais como ravinas e voçoroca, o que requereu, além do fechamento dessas incisões, a reconstrução de terraços em níveis. O aterramento da erosão e a construção das curvas de nível levaram a remoção dos horizontes superficiais e subsuperficiais (Ap, E e Bt) de parte setor (II)

(Figura 2), que resultou na descontinuidade vertical e lateral dos horizontes pedológicos que ocorrem ao longo da topossequência.

Por conseguinte, a dessemelhança da organização vertical e na transição lateral dos horizontes dos solos, apontados inicialmente pelo levantamento bidimensional da cobertura pedológica, levaram a necessidade da abertura de três trincheiras no setor II. Desse modo, encontrou-se na TRII um Argissolo Vermelho com a sequência vertical dos horizontes Ap, E, Bt e Bw; na TRIII, devido a ocorrência das erosões que levaram ao aterramento e a disparidade lateral dos horizontes pedológicos, verticalmente foi descrito um horizonte Bw sotoposto ao aterro; enquanto na TRIV também foi identificado um Argissolo Vermelho, com a mesma sequência vertical dos horizontes observados na TRII. Dessa maneira, mesmo que não seja contínua, neste setor ainda se prevalece a ocorrência de um Argissolo Vermelho (Figura 2).

O setor III, a baixa vertente, possui declividade média de 15,5% e uma morfologia que se altera em côncava convergente. Nesse setor foi descrito um Argissolo Vermelho (TRV) característico, composto pela sequência vertical dos horizontes pedológicos A, E e Bt, seguido de uma transformação lateral para um Neossolo Quartzarênico (TRVI) de sequência dos horizontes A e C, com contato lítico a 1,3 m de profundidade (Figura 2).

Desse modo, o horizonte Ap se distribui do topo da vertente (setor I) até a transição do setor II para o setor III (com exceção da área de aterro - TRIII). Apresenta espessura média de 22 cm e cor marrom-avermelhado (2,5YR 3/4). No sopé da vertente (setor III) em virtude da ausência de manejo agrícola (área com fragmento florestal) esse horizonte é lateralmente sucedido por um horizonte A, marcado pelo aumento de espessura, com variação de 23 e 26 cm de profundidade, e pela mudança de coloração, que passa a conter tonalidades mais claras (5YR 6/4 a 7,5YR 6/4) (Quadro I).

Quadro 1: Análise morfológica dos horizontes pedológicos da topossequência de solos analisada

Horiz. / Prof. (cm)	Cor	Estrutura grau/tamanho/tipo ¹	Consistência ²			
			Seca	Úmida	Molhada	
					Plasticidade	Pegajosidade
Setor I – TRI – Latossolo Vermelho						
Ap (0-27)	2,5YR 3/2 a 3/4	fr. a mod./ peq. a méd./ b. ang. e gran.	macia	m. fri.	lig. plást.	lig. peg.
AB (27-56)	2,5YR 4/6	fr. a mod./ peq. a méd./ b. ang. e subang.	macia	m. fri.	lig. plást.	lig. peg.
Bw1 (56-126)	2,5YR 3/6	fr. a mod./ peq. a méd./ b. ang. e subang.-gran.	solta a macia	m. fri.	lig. plást. a plast.	lig. peg. a peg.
Bw2 (126-215+)	2,5YR 4/6	fr./peq./ b. ang. e gran.	solta	m. fri.	lig. plást. a plast.	lig. peg. a peg.
Setor II – TRII – Argissolo Vermelho						
Ap (0-20)	2,5YR 3/4	fr./ peq. a méd./ gran. a g. simp.	solta a macia	m. fri.	ñ plást.	ñ peg.
E (20-46)	2,5YR 4/4	fr./ peq. a méd./ b. subang. e g. sim.	solta	m. fri.	ñ plást.	lig. peg.

Bt (46-92)	2,5YR 4/6	mod. for. / méd. a gran. / b. ang. e subang.	macia	m. fri.	plást.	peg.
Bw1 (92-132)	2,5YR 4/8	fr. a mod. / peq. / b. ang. e subang./gran.	solta	m. fri.	lig. plást. a plást.	peg.
Bw2 (132-210+)	2,5YR 5/8	fr./ peq./ b. ang.-g. sim.	solta	m. fri.	lig. plást. a plást.	peg.
Setor II - TRIII – Aterro						
Aterro (0-60)	2,5YR 4/4 a 4/6	mod. a for. / méd. a gran. / b. ang. a subang.	solta a macia	m. fri.	lig. plást. a plást.	lig. peg.a peg.
Bw1 (60-119)	2,5YR 4/6 a 4/8	fr. a mod. / peq. a med./ b. subang. /gran.	solta	sol. a m. fri.	lig. plást. a plást.	lig. peg.a peg.
Bw2 (119-215+)	2,5YR 4/8	fr./ peq./ gran.	solta	sol.	lig. plást.	lig. peg.
Setor II - TRIV – Argissolo Vermelho						
Ap (0-20)	2,5YR 3/4	fr./ peq./ gran. a g. simp.	solta	s.	ñ plást. a lig. plást.	ñ peg. e lig. peg.
E (20-30)	2,5YR 4/4	fr./ peq./ gran. a g. simp.	solta	s. a m. fri.	ñ plást. a lig. plást.	ñ peg. e lig. peg.
Bt (30-50)	2,5YR 4/6	mod. /méd. a gran. / b. ang. e subang.	macia	m. fri.	lig. plást. a plást.	lig. peg. a peg.
Bw1 (50-120)	2,5YR 4/8	fr./ peq./ b. ang. pass. a gran.	solta a macia	m. fri.	lig. plást. a plást.	lig. peg. a peg.
Bw2 (120-215+)	2,5YR 4/8	fr./ m. peq./ gran. a g. simp.	solta	s.	lig. plást. a plást.	lig. peg. a peg.
Setor III - TRV – Argissolo Vermelho						
A (0-23)	5YR 6/4	ausente mac. /g. simp.	solta	sol.	ñ plást.	ñ peg.
E1 (23-63)	5YR 6/4	ausente mac. /g. simp.	solta	sol.	ñ plást.	ñ peg.
E2 (63-135)	5YR 6/6	ausente mac. /g. simp.	solta	sol.	ñ plást.	ñ peg.
Bt (135-200+)	2,5YR 4/6	mod./ méd./b. ang. e subang.	solta	m. fri.	lig. plást. a plást.	lig. peg.a peg.
Setor III - TRVI – Neossolo Quartzarênico						
A (0-26)	7,5YR 6/4	ausente mac. /g. simp.	solta	sol.	ñ plást.	ñ peg.
C1 (26-80)	7,5YR 6/4	Ausente g. simp.	solta	sol.	ñ plást.	ñ peg.
C2 (80-130)	10YR 7/3	Ausente g. simp.	solta	sol.	ñ plást.	ñ peg.
Nota: ¹ Estrutura: fr. – fraca, mod. – moderada, for. – forte, peq. – pequena, méd. – média, gran. – grande; b. – blocos, ang. – angulares, gran. – granular, subang. – subangulares, mac. – maciça; g. – grão, simp. – simples; ² Consistência: lig. – ligeiramente, plást. – plástica, peg. – pegajosa.						

Fonte: Os autores (2023).

Na cobertura latossólica, no topo da vertente (setor I), sotoposto ao horizonte Ap e situando-se entre 27 e 56 cm de profundidade, ocorre o horizonte subsuperficial AB. Esse horizonte possui cor avermelhada (2,5YR 4/6), estrutura de grau fraca a moderada, de tamanho pequeno a médio, do tipo blocos angulares e subangulares (Quadro I).

Sob a atuação dos fluxos hídricos, o aumento gradativo da declividade do setor I (4,3%) para o setor II (10,4%) contribui para que a partir da média vertente ocorra o surgimento do processo de eluviação nos horizontes superficiais e subsuperficiais e, conseqüentemente a iluviação em profundidade. Dessa maneira, a perda de argila em subsuperfície, a partir do setor II, leva a sucessão lateral do horizonte AB da cobertura latossólica para um horizonte E de uma

cobertura argissólica, que se estende até o sopé da vertente (com exceção da área aterrada - TRIII). Resultado semelhante, a associação entre o aumento da declividade a partir da média vertente com o surgimento do processo de e-iluviação, também foi observado por Zaparoli (2009).

No setor II, o horizonte E ocorre abaixo dos 20 cm de profundidade, possui espessura média de 18 cm, e cor marrom avermelhada (2,5YR 4/4). No entanto, no sopé da vertente (TRV) ele é marcado por exibir um significativo espessamento, atingindo 112 cm, bem como clareamento de sua cor, tornando-se marrom avermelhado claro (Figura 2 e Quadro I). O espessamento do horizonte E na base da vertente também foi observado por Santos, Cruz e Silveira (2023) ao analisarem uma topossequência de solos oriunda da formação arenítica Santo Anastásio, no município de Munhoz de Melo-PR. Nesse estudo os autores constataram que tal espessamento na base da vertente está associado a energização dos fluxos hídricos laterais, o que contribui para a intensificação da lixiação da fração argila.

Na base do setor III, o horizonte E transaciona lateralmente para um horizonte C de características morfológicas semelhantes, cujo apresenta cor marrom claro (7,5YR 6/4 a 7/3) e espessura de 104 cm. Além disso, assim como o horizonte E da TRV, o horizonte C é caracterizado pela ausência de estrutura em virtude da sua textura arenosa. Contudo, ao seguir as terminologias estabelecidos pela Embrapa (2018), o solo encontrado na trincheira TRV foi classificado como um Neossolo Quartzarênico em razão de ser constituído exclusivamente por horizontes de textura arenosa (teor de areia $>900,0 \text{ g.Kg}^{-1}$) dentro de 1,5 m de profundidade. Por consequência, essa classificação levou a distinção de nomenclatura desses horizontes (E para C), ainda que a descrição morfológica aponte uma intrínseca semelhança entre eles (Quadro I).

Em profundidade, se estendendo do setor II até parte do setor III, forma-se um horizonte de acúmulo de argila, classificado como Bt, diagnóstico do Argissolo. Esse horizonte exibe uma notável uniformidade em sua morfologia ao longo da topossequência, apresentando cor vermelha (2,5YR 4/6) e estrutura com grau que varia de moderada a forte, de tamanho médio a grande, do tipo blocos angulares e subangulares (Quadro I).

A partir da semelhança morfológica entre os horizontes descritos na TRII e na TRV, com destaque para os horizontes Ap, E, Bt, é possível inferir que, de fato, os Argissolos descritos nessas trincheiras eram originalmente conexos, compreendendo todo o setor II e parcialmente o setor III da vertente, que lhe conferia, em resultado, um sistema pedológico composto por Latossolo-Argissolo-Neossolo Quartzarênico, que sofreu uma desconexão lateral

com o surgimento da área degradada. Esse sistema pedológico que compreendia a vertente antecedente a sua degradação é comumente encontrado sobre formação arenítica na mesorregião Noroeste do Paraná, como já foi observado nos trabalhos desenvolvidos por Gasparetto (1999), Calegari (2000) Cunha (2002) e Beckauser (2020).

Por fim, o horizonte diagnóstico do Latossolo (Bw) é encontrado ao longo de quase toda a vertente, inclusive sotoposto ao aterro (TRIII) e ao horizonte diagnóstico do Argissolo (Bt) na TR II e IV (Figura 2). Possui coloração que oscila de vermelho a vermelho escuro (2,5YR 3/6 a 5/8), e estrutura com tamanho que varia predominantemente de muito pequena a pequena, do tipo granular que se desfazem em grão simples (Quadro 1).

Em decorrência de sua natureza geológica todos os horizontes pedológicos analisados possuem em sua composição granulométrica a fração mineral de tamanho areia como sendo predominante, uma vez que se trata de uma topossequência de solos derivada de formação arenítica (Fm. Goio Erê). Contudo, a taxa de areia total (AT) aumenta de forma gradual à medida que se desloca para a jusante da vertente, além de estar mais fortemente associada aos horizontes pedológicos lixiviados superficiais Ap e A, que apresentam teores que variam entre 841,6 e 953,2 g.Kg⁻¹, e os subsuperficiais E e C, ao qual os valores oscilam entre 816,1 e 961,9 g.Kg⁻¹ (Tabela 1).

O fracionamento da AT revelou a predominância de areia fina (AF) em todos os horizontes analisados, acompanhado de uma ligeira redução de seus teores no setor III (TRV e TRVI), em que houve o incremento de areia média (AM). O aumento dos teores de AM em detrimento da AF é explicado pela intensificação dos fluxos hídricos na base inferior da vertente, que, além de subsidiar a lixiviação da argila, também promovem a remoção das frações menores como a AF (Tabela 1).

Em relação a fração argila, pode-se observar que as concentrações estão vinculadas ao horizonte diagnóstico do Argissolo (Bt), com variação entre 140,1 e 227,0 g.Kg⁻¹. Contudo, ocorre uma significativa redução desses teores na TRV (140,1 g.Kg⁻¹), disposta no setor III, quando comparada ao mesmo horizonte encontrado no setor sobrejacente (II). Essa redução lateral do teor de argila, assim como o que ocorre nos horizontes sobrejacentes A e E, decorre de sua posição no declive (setor III), que está sob influência de intensos fluxos hídricos advindos de montante da vertente, fazendo com que até mesmo este horizonte de acúmulo de argila esteja sujeito a lixiviação de constituintes granulométricos de tamanhos menores que a AM (Tabela 1).

Tabela 1: Composição granulométrica dos horizontes pedológicos analisados

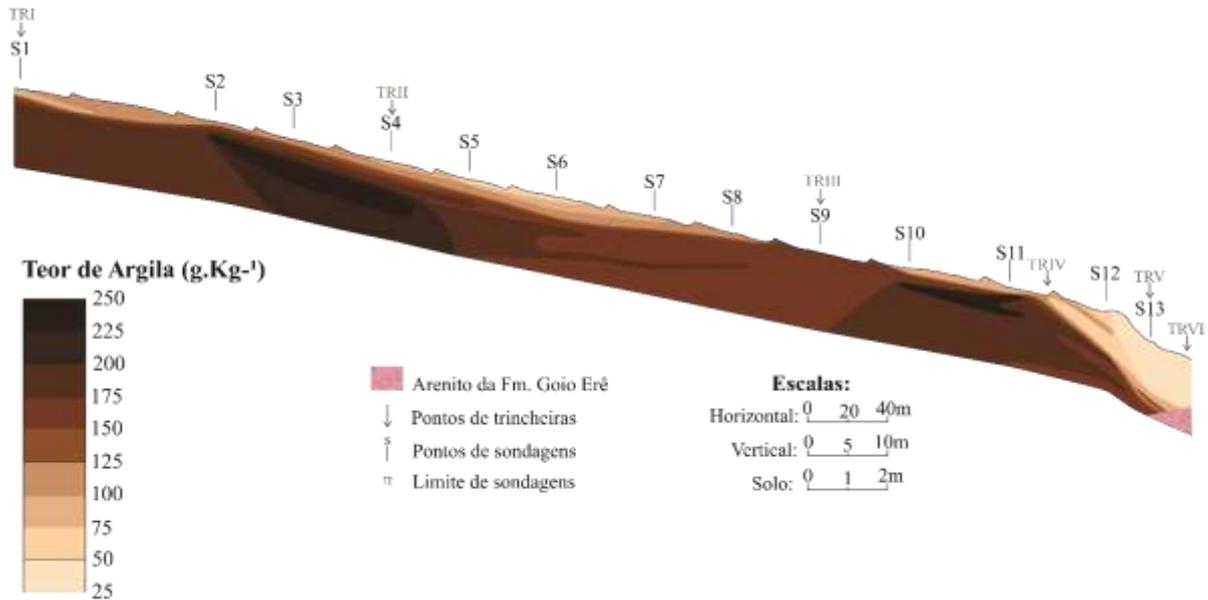
Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria ¹							
		Ar	S	AMF	AF	AM	AG	AMG	AT
(g.Kg ⁻¹)									
Setor I - TRI – Latossolo Vermelho									
Ap	0-27	109,5	48,9	102,9	564,6	173,2	0,7	0,0	841,6
AB	27-56	160,2	37,9	92,6	525,2	182,6	1,5	0,0	801,8
Bw1	56-126	199,2	54,3	105,1	498,6	141,9	0,8	0,0	746,4
Bw2	126-215+	187,5	44,7	95,7	504,3	166,4	1,4	0,0	767,8
Setor II - TRII – Argissolo Vermelho									
Ap	0-20	91,5	56,3	116,6	607,7	127,3	0,5	0,0	852,2
E	20-46	143,8	40,1	113,9	562,2	138,5	1,5	0,1	816,1
Bt	46-92	227,8	50,2	107,3	513,4	100,8	0,4	0,0	722,0
Bw1	92-132	190	48	100	517	143	1	0	762
Bw2	132-210+	198,5	49,1	108,3	539,1	104,4	0,5	0,0	752,4
Setor II - TRIII – Aterro									
Aterro	0-60	174,5	54,8	86,0	632,1	51,5	0,3	0,8	770,7
Bw1	60-119	160,3	40,1	119,8	632,4	47,1	0,3	0,0	799,6
Bw2	119-212+	168,7	45,5	105,9	620,4	58,9	0,6	0,0	785,7
Setor II - TRIV – Argissolo Vermelho									
Ap	0-20	72,2	44,2	117,8	683,8	81,5	0,5	0,0	883,6
E	20-30	86,5	48,4	122,1	685,7	56,8	0,3	0,2	865,1
Bt	30-50	176,7	56,3	96,7	602,8	67,3	0,1	0,0	767,0
Bw1	50-120	153,6	40,3	102,6	642,6	60,5	0,2	0,0	806,1
Bw2	120-125+	171,7	30,1	100,6	627,3	70,1	0,1	0,0	798,1
Setor III - TRV – Argissolo Vermelho									
A	0-23	42,4	31,2	102,5	686,1	135,3	2,5	0,0	926,4
E1	23-63	33,1	29,4	97,1	595,9	244,3	0,2	0,0	937,5
E2	63-135	38,9	27,0	91,5	704,9	137,4	0,3	0,0	934,1
Bt	135-200+	140,1	33,4	79,5	530,2	216,5	0,2	0,0	826,5
Setor III - TRVI – Neossolo Quartzarênico									
A	0-26	21,6	25,2	67,8	678,4	206,3	0,7	0,0	953,2
C1	26-80	13,4	24,7	74,3	590,6	297,0	0,0	0,0	961,9
C2	80-130	10,4	38,5	81,8	718,7	150,6	0,0	0,0	951,1

¹Nota: Ar = Argila; S = Silte; AMG = Areia muito grossa; AG = Areia grossa; AM = Areia média; AF = Areia fina; AMF = Areia muito fina

Fonte: Os autores (2023).

O perfil com curvas de isovalores (Figura 3) permite uma melhor visualização espacial da organização da argila, representando áreas de perda e de concentração. Desse modo, nota-se que no setor I, em que foi disposta a sondagem 1 (S1), os valores são relativamente homogêneos, vertical e lateralmente, com variação compreendida entre 125,0 a 175,0 g.Kg⁻¹. Como apontado por Calegari (2000), acredita-se que a uniformidade do teor de argila na alta vertente é desfecho da baixa declividade que contempla esse setor (I), o que proporciona o predomínio da infiltração vertical e, conseqüentemente, homogeneidade em seus constituintes granulométricos.

Entre a S2 e a S6, bem como entre a S10 e S13, sobre domínio do Argissolo, a uniformidade da composição granulométrica é interrompida em virtude da mobilização vertical e lateral da argila, o que resulta em uma maior faixa de variação, entre 25,0 e 250,0 g.Kg⁻¹ (Figura 3).

Figura 3: Curvas de isovalores de argila da topossequência analisada

Fonte: Os autores (2023).

Ainda que também contemple parte da média vertente, cujo o aumento de declividade oportuniza a intensificação dos fluxos hídricos e que acarretaria, em teoria, na mobilização de partículas finas (argila), assim como o observado entre a S2 e a S4 e entre a S10 e a S13, os valores encontrados entre a S7 e a S9 são homogêneos, variando entre 150,0 a 175,0 g.Kg⁻¹. Todavia, a posição em que essas sondagens foram dispostas coincide com a área de aterro. Desse modo, acredita-se que a intensa mistura, tanto dos horizontes formados *in situ* quanto da terra trazida de outra localidade para a execução do aterramento das feições erosivas desenvolvidas neste local no ano de 2016, faz com que este ponto da vertente apresente baixa oscilação vertical e lateral dos teores de argila (Figura 3).

Lateralmente, a partir da S12, é notória a formação do pacote arenoso em detrimento dos valores de argila. Essa arenização associa-se ao Neossolo Quartzarênico (TRVI), que apresenta verticalmente uma faixa de variação entre 25,0 e 50,0 g.Kg⁻¹ para o teor de argila. Com isso, também fica evidente o avanço regressivo desse Neossolo Quartzarênico sobre o Argissolo (TRV), cujo os maiores teores verticais de argila aparecem a partir de 1,30 m de profundidade neste perfil, com valores que oscilam na faixa de 150,0 a 175,0 g.Kg⁻¹. O avanço de maneira remontante do Neossolo Quartzarênico sobre o Argissolo em função da lixiviação da argila por fluxos hídricos atuantes no sopé da vertente também foi constatado por Cunha (1999), Calegari (2000) e Beckauser e Silveira (2020).

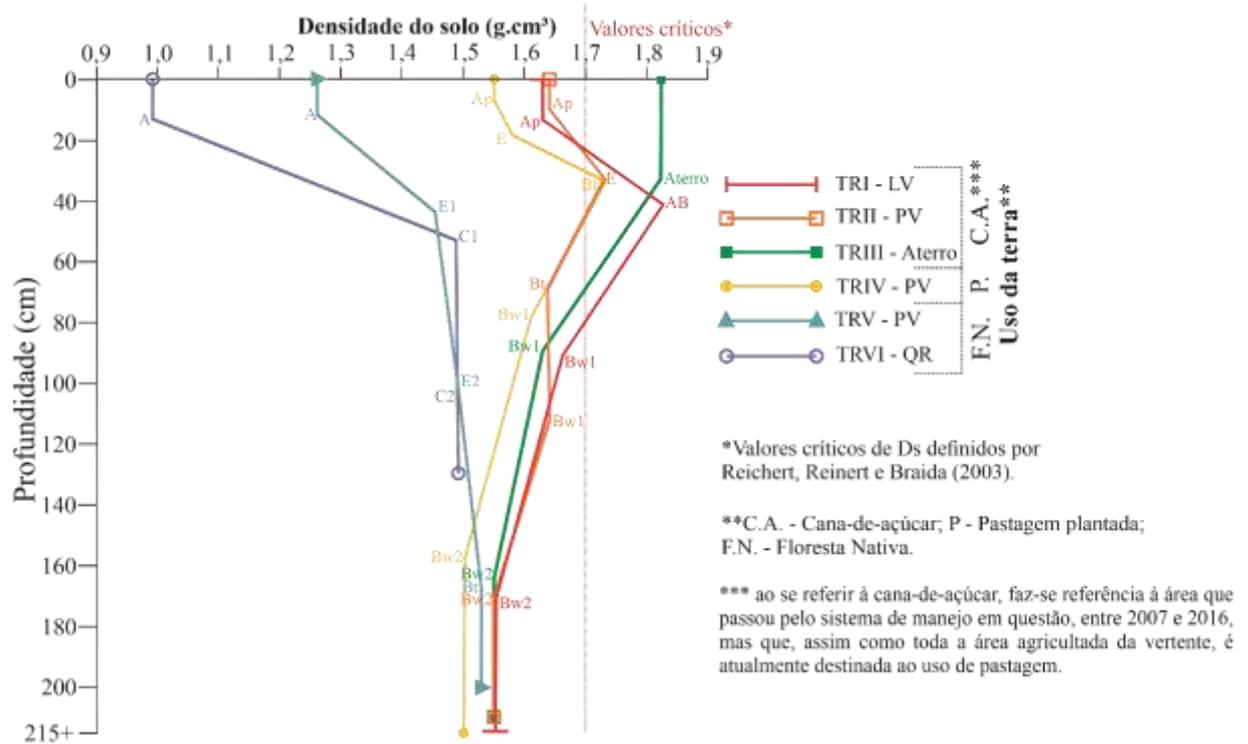
Para compreender a suscetibilidade desses solos encontrados ao longo da topossequência à erosão, deve-se destacar que a composição granulométrica atua de forma

direta em sua estruturação, de modo que, em superfície e em subsuperfície, em que ocorre a concentração dos teores de AT (nos horizontes Ap, A, E), os agregados porta-se essencialmente como fracos, de tamanho pequeno a médio e do tipo granular, isso quando são estruturados, já que no setor III, nas TR V e VI, a estruturação é ausente nos horizontes A, E e C devido ao aumento expressivo dos teores de AT em sua composição granulométrica.

Em contrapartida, o incremento da argila em profundidade, associado ao horizonte Bt, concede a formação de agregados mais estruturados, com grau forte a moderado, tamanho médio a grande e do tipo de blocos angulares e subangulares (Quadro I). Isso corrobora com o estudo de Silva et al., (2014), que destacam o papel da textura na estruturação dos solos ao considerarem a argila como um importante agente cimentante dos agregados, ressaltando que, em solos com maior teor de argila há maior favorecimento à agregação.

Porém, o manejo do solo, principalmente em locais que dispunham do sistema de manejo da cana-de-açúcar (TRI, TII e TRIII), leva a alterações significativas em sua estruturação, que independe de sua natureza físico-química. Nesses locais, mesmo em horizontes onde não houve o incremento de argila, em subsuperfície (horizontes AB e E, além do aterro), a morfologia muda e passa a apresentar estrutura com grau fraco a moderado, de tamanho que variaram de pequeno a médio e com blocos angulares e subangulares. Portanto, isso demonstra que tais horizontes (AB e E) tiveram suas características estruturais demudadas por compressões mecânicas promovidas pelo tráfego contínuo de maquinários agrícolas durante o manejo do solo, assim como também foi constatado por Marcatto (2020).

Por conseguinte, são nestes locais (no setor I e parcialmente no setor II) que os maiores valores de densidade dos solos (Ds) são encontrados, especificamente nos horizontes AB da TRI, E da TRII, além do aterro na TRIII), cujo apresentam valores que variam entre 1,73 e 1,82 g.cm³, excedentes aos limites críticos estabelecidos por Reichert, Reinert e Braida (2003) para a infiltração da água (Figura 4).

Figura 4: Variação da densidade do solo (Ds) ao longo da topossequência de solos analisada

Fonte: Os autores (2023).

Embora estejam próximos dos valores críticos, a redução da Ds no horizonte Ap, mesmo em locais que dispunham do cultivo da cana-de-açúcar (TRI e TRII), com valor de 1,63 e 1,64 g.cm³, respectivamente, é resultado do revolvimento da camada superficial pelo uso de arado e grade aradora durante o manejo do solo. A utilização desses implementos agrícolas é responsável por promover a aeração nos horizontes superficiais, o que contribui para que seus valores de Ds se estabeleçam abaixo do limite crítico, mas que ainda assim deixa nos horizontes subsuperficiais resquícios da compactação (Figura 4). A alteração da qualidade física do solo promovida pela utilização da grade aradora também já foi detectada por Stone e Silveira (1999).

É oportuno destacar que em relação ao uso da atual da terra, a pastagem visualmente pouco degradada que cobre esses locais (TR I e II) também auxilia na melhora dos valores de Ds no horizonte Ap. Já na TRIII, sobre o aterro, que apresenta um valor crítico de Ds (1,82 g.cm³) (Figura 4), a gramínea é pouco desenvolvida e, por consequência, não ocorre uma melhoria mútua, uma vez que a alta Ds dificulta o desenvolvimento radicular da gramínea, e esta, por vez, não contribui para melhora da qualidade física do solo.

Por outro lado, sobre pastagem (TRIV), e floresta nativa (TR V e VI) o efeito é antagônico, pois o não revolvimento dos horizontes superficiais por grade aradora proporciona valores reduzidos de Ds, tanto em superfície quanto em profundidade. A única exceção a essa

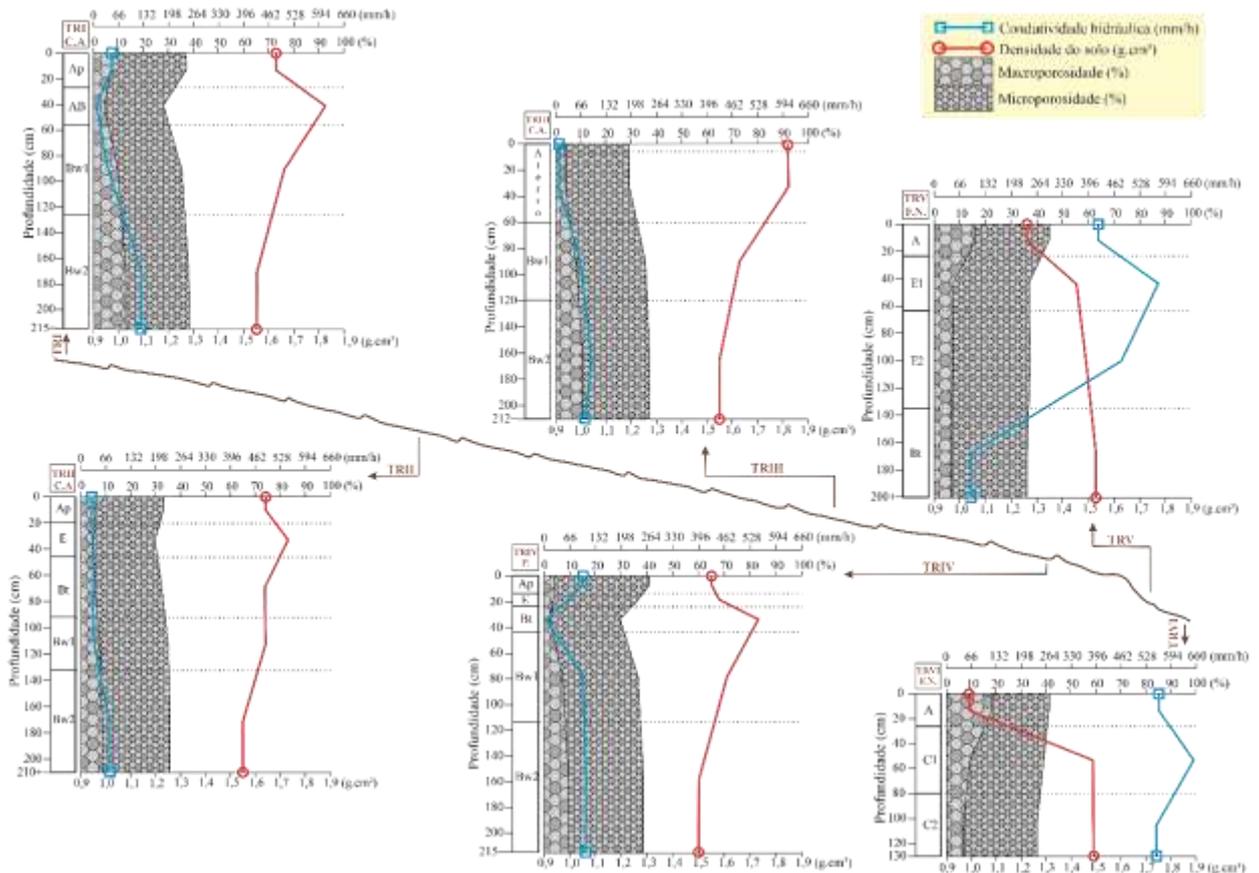
tendência está no horizonte Bt sobre pastagem (TRV), que também apresenta valor crítico ($1,73 \text{ g.cm}^3$) (Figura 4) em razão do processo da densificação natural, que decorre da concentração da fração argila advinda do horizonte superficial (Ap) e subsuperficial (E) (Quadro 1), corroborando com o estudo desenvolvido por Silva (1999).

Todavia, embora o comportamento da Ds sob pastagem tenha uma maior correlação com a sua natureza física se comparada as áreas que dispunham do cultivo da cana-de-açúcar, ainda assim os menores valores são encontrados sob a floresta nativa, que apresenta, verticalmente, variação entre $1,20$ e $1,53 \text{ g.cm}^3$ para o Argissolo (TRV) e $0,98$ e $1,49 \text{ g.cm}^3$ para o Neossolo Quartzarênico (Figura 4). Nota-se que os menores valores de Ds estão associados ao horizonte A, que se justifica pelo aumento da matéria orgânica, ao qual é um elemento que possui baixa densidade em relação as partículas minerais do solo (Aragón et al., 2000; Dias Junior; Miranda, 2000).

Desse modo, o revolvimento dos solos em áreas que passaram pelo cultivo cana-de-açúcar e o não revolvimento em locais sobre domínio da pastagem e de floresta nativa se refletem, por consequência, em seu sistema poroso, principalmente na macroporosidade (Ma), que como apontado por Reichardt (1978) é a principal responsável pela condução da água no solo.

Os menores índices de Ma se correlacionam diretamente com os maiores valores de Ds. Assim, é no setor I e parcialmente o setor II, especificamente nos horizontes AB da TRI, E da TRI, e no aterro da TRIII, onde são encontrados os menores percentuais de Ma, que oscilaram entre $3,7$ e $5,1\%$. Esse comportamento redutivo verticalmente da Ma proporciona baixa condutividade hidráulica em meio saturado para estes horizontes, ao qual apresentam valores que variam entre $8,08$ e $30,02 \text{ mm/h}$, incluindo aqui o aterro (Figura 5). Esses resultados corroboram com os encontrados por Cunha et al., (2008), em que a Ds e a porosidade detectada pelos autores tiveram em uma forte correção negativa, ou seja, foram inversamente proporcionais.

Figura 5: Variação vertical e lateral da densidade do solo (D_s), microporosidade (M_i), macroporosidade (M_a), e condutividade hidráulica saturada (K_{fs}) ao longo da topossequência de solos analisada



Fonte: Os autores (2023).

Deve-se reiterar que, o aumento vertical de D_s ($1,73 g.cm^3$) em detrimento da M_i (27,6%), da M_a (1,9%) e da P_t (29,5%), o horizonte Bt da TRIV, sob pastagem, sofre, de fato, influência da sua natureza física, uma vez que a mobilização da argila do horizonte A e E para o Bt são responsáveis pela obstrução da porosidade, que lhe confere, em efeito, baixa K_{fs} (2,4 mm/h). Esses resultados corroboram com o estudo realizado por Eltz, Mehl e Reichert (2001).

Em resumo, a redução vertical abrupta da macroporosidade e da porosidade total em subsuperfície em relação aos horizontes superficiais resulta na diminuição da infiltração da água no solo. Essa ação faz com que ocorra a formação de fluxos hídricos temporários suspensos no topo dos horizontes menos permeáveis (AB da TRI, E da TRII, e Bt da TRIV) ao passo que os horizontes superficiais atinjam a saturação antes dos horizontes subjacente, alavancando, dessa maneira, a probabilidade de desenvolvimento de feições erosivas a medida em que os horizontes superficiais atinjam a sua capacidade de campo mais rapidamente.

Resultados semelhantes foram observados por Zago (2000) e Cunha, Nóbrega e Castro (2008) no topo do horizonte Bt da cobertura argissólica. Já Marcatto (2020) também verificou

que condições semelhantes podem ocorrer em horizontes subsuperficiais de cobertura latossólica que apresentam homogeneidade em sua composição textural vertical, mas que apresentam mudanças estruturais abrupta promovida pelo tráfego contínuo de maquinários agrícolas durante o manejo da cana-de-açúcar.

Desse modo, é possível inferir que a obstrução dos macroporos e da porosidade total nos horizontes subsuperficiais, sobre influência do cultivo da cana-de-açúcar, promoveram intensificação dos fluxos hídricos superficiais, que juntamente com o aumento da declividade que ocorre da alta (4,3%) para a média vertente (10,4%), foram agente propulsores dos processos degracionais (erosões) surgidas no terço médio da vertente.

Todavia, ainda que toda a área que dispunha do cultivo da cana-de-açúcar apresente reduzida condutividade hidráulica satura (K_{fs}) em subsuperfície, que leva a formação de fluxos hídricos suspensos nos topo dos horizontes menos permeáveis, as condições sobre a área degradada (TRIII) são piores, portanto, os fluxos hídricos advindos da montante da vertente podem se intensificar ainda mais nesse setor a ponto de resultarem na formação de novas feições erosivas que tendem a evoluir regressivamente do terço inferior do setor II em direção ao setor I, de forma simultânea à dinâmica erosiva remontante que ocorre no sopé da vertente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que além do comportamento natural, o cultivo da cana-de-açúcar foi um dos fatores propulsores da mudança estrutural e no funcionamento hídrico do sistema pedológico encontrado ao longo da vertente. A compactação dos horizontes superficiais e subsuperficiais, com destaque para o segundo, promovidas pelo manejo do solo, resultou na diminuição da infiltração e intensificação dos fluxos hídricos laterais, mesmo em horizontes pedológicos que apresentam maiores concentrações de areia, que, em teoria, tendem a apresentar maiores taxas de infiltração da água.

A concentração dos fluxos hídricos superficiais, aliada ao aumento de declividade a partir da média vertente, contribuiu para o desenvolvimento das erosões (ravinas e voçorocas) que ocorreram no ano de 2016 no setor II. O desenvolvimento de tais processos incisivos, juntamente com a adoção de medidas para a sua contenção (reconstrução de curvas de níveis e aterramento) foram responsáveis pela remoção dos horizontes Ap, E, Bt e parte do Bw neste setor (II), levando a descontinuidade do sistema pedológico original que recobria a vertente (Latosolo-Argissolo-Neossolo Quartzarênico).

Ainda que se tenha implantado um uso menos degradante após o surgimento da área degradada, mediante a implantação da pastagem, os efeitos causados pelo sistema de cultivo da cana-de-açúcar sobre a dinâmica físico-hídrica dos solos ao longo da vertente persistem até os dias atuais.

A interação sistêmica entre os solos ao longo da topossequência faz com que as mudanças ocorridas nos padrões de drenagem no alto e médio setor da vertente se reflitam também no setor III, que passam a receber fluxos hídrico com maior energia. Formado predominantemente por solos com horizontes de textura arenosa e sem estrutura (A, E e C), o recebimento de intensos fluxos hídricos por este setor tende a truncar esses desses horizontes mais susceptíveis e, conseqüentemente, ocorrer o desenvolvimento de áreas degradadas também no sopé da vertente, onde já é facilmente observado uma alta densidade de feições erosivas.

REFERÊNCIAS

- ARAGÓN, A.; GARCIA, M. G.; FILGUEIRA, R. R.; PACHEPSKY, Y. A. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; The relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research.**, v.56, p. 197 – 204, 2000.
- BECKAUSER, M. C. Os solos e a dinâmica erosiva ao longo de uma voçoroca no distrito de Sumaré em Paranaíba – PR. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2020.
- BECKAUSER, M. C.; SILVEIRA, H. Caracterização da cobertura pedológica ao longo de uma topossequência situada no distrito do Sumaré em Paranaíba-PR. **Geofronter**, v. 6, p. 1-17, 2020.
- BERTOL, I. et al. Propriedades Físicas de um Cambissolo Húmico. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555–560, 2001.
- BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão.** Maringá: III Simpólio Nacional de Controle a Erosão, 1985.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Microbiana De Um Latossolo Amarelo Álico Após O Cultivo Com Fruteiras Perenes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 1019–1025, 1999.
- BOULET, R.; HUMBEL, F.X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie em pédologie: II Une méthode d’analyse prenant en compte l’organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah **O.R.S.T.O.M.**, v. XIX, n.4, p.323-339, 1982.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p.

CALEGARI, M.R. **Distribuição da cobertura pedológica e o relevo no alto vale do ribeirão Água do São Francisco – Nova Esperança**. 2000. 139 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S. DE; SALOMÃO, F. X. DE T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, Noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 23, p. 943–951, 1999.

CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. DE; CASTRO, S. S. DE. Infiltração da água no solo no sistema pedológico Campus do Arenito, cidade gaúcha, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1837–1848, 2008.

CUNHA, J.E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha-PR**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, 2002.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p. 337 – 346, 2000.

ELTZ; F. L. F.; MEKL, H. U.; REICHERT, L. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um argissolo vermelho- amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 25, n. 2, p. 485-493, 2001.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5ed. Brasília: Embrapa, 2018. 590p.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de Análise de Solo**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. 573 p.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Mapa de Solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: **EMBRAPA Solos e Florestas**, 2008.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): Revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 3, p. 164–176, 1994.

FONSECA, F. P. DA; SERRA, E. Trajetórias recentes do novo modelo agrícola no noroeste do Paraná. **Terra Plural**, v. 13, n. 1, p. 58–72, 2019.

GASPARETTO, N.V.L. **As formações superficiais do Noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá**. 1999. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, 1999.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 169–177, 2005.

MARCATTO, F. S. **Os principais sistemas pedológicos derivados das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina na bacia hidrográfica do Rio Pirapó-PR: Os efeitos do uso e manejo do cultivo da cana-de-açúcar**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2020.

MARQUES, A. J.; SANTIL, F. L. DE P.; CUNHA, J. E. O uso do clinômetro no levantamento topográfico. Estudo de caso: levantamento pedológico. **Boletim de Geografia**, p. 135–141, 2000.

MUZILLI, O.; et al. Conservação do solo em sistemas de produção nas microbacias hidrográficas do Arenito Caiuá. Clima, solo, estrutura fundiária e perfil da produção agropecuária. **Boletim Técnico Iapar**, v. 33, n. 1, 1989.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40–47, 2013.

RAMOS, F. T. et al. Indicadores De Qualidade Em Um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 112–120, 2010.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.

RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. *Ciência & Ambiente*, v. 24, p. 75–92, 2002.

SANTOS, M. C. C.; CRUZ, G. H. A.; H. Silveira. Comportamento físico-hídrico de uma topossequência de solos formados da alteração do arenito da Formação Adamantina na bacia hidrográfica do Rio Pirapó, Paraná, Brasil. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 9, n. 1, p. 1-24, 2023.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7^o ed. rev ed. Viçosa. 2015.

SERRA, E. Noroeste do Paraná: o avanço das lavouras de cana e a nova dinâmica do uso do solo nas zonas de contato arenito-basalto. **Revista Campo-Território**, v. 5, n. 9, p. 89–111, 2010.

SERRA, E. Noroeste do Paraná: pasto e cana nas terras da última fronteira do café. Em: SERRA, E.; SILVEIRA, H.; TERESA DE NÓBREGA, M. (Eds.). **Noroeste Paranaense: Paisagem e Desenvolvimento Rural**. 1. ed. Maringá: PGE, 2022. v. 1, p. 9-46.2022.

SILVA, A. S.; SILVA, I. D. F.; BANDEIRA; L. B., DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. D. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência rural**, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, I. DE F. **Efeito de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas em um Latossolo**. 1980. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980.

SILVA, M.S.L.; KLAMT, E.; RODRIGUES, J.J.V.; CAVALCANTI, A.C. Origem do adensamento em solos do tabuleiro sertanejo do Estado de Pernambuco: Morfologia e física. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 27., 1999, Brasília, DF. Brasília: CNPS, 1999.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 83-91, 1999.

ZAGO, A. **Sistema pedológico Latossolo-Argissolo e seu comportamento físico-hídrico em Mamborê, PR**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2000. 161p. (Tese de Doutorado).

ZAPAROLI, F.C.M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do Córrego Aratu, Floraí-PR**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2009.

SOBRE A AUTORA E OS AUTORES

GUSTAVO HENRIQUE ANDRADE DA CRUZ

Possui licenciatura em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá - UEM (2021), atualmente é bacharelado e mestrando em Geografia pela mesma instituição. Possui experiência em Geografia Física, com ênfase em Pedologia.

HÉLIO SILVEIRA

Possui graduação em Geografia (licenciatura e bacharelado) pela Universidade Estadual de Maringá (1994), mestrado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1998) e doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2001). Atualmente é professor da graduação e pós-graduação (mestrado e doutorado) na Universidade Estadual de Maringá. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Pedologia e Climatologia.

FRANCIELI SANT'ANA MARCATTO

Possui graduação em Geografia (licenciatura e bacharelado) pela Universidade Estadual de Maringá-PR (2012/2013), mestrado e doutorado em Geografia pela mesma instituição. Atualmente é professora colaboradora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá e pós-doutoranda pela Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO) - Campus Cedeteg (Guarapuava-PR). Tem experiência na área de Geografia Física, com ênfase em erosão dos solos.