



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

## ESTUDO MORFOPEDOLÓGICO DE UMA TOPOSEQUÊNCIA DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERRA ROXA - PR

### *MORPHOPEDOLOGICAL STUDY OF A TOPOSEQUENCE OF SOILS IN THE MUNICIPALITY OF TERRA ROXA – BRAZIL*

(Recebido em 03-03-2024; Aceito em 30-12-2024)

#### **Marcelo Batista**

Doutorando em Geografia física pela Universidade do Centro-Oeste (UNICENTRO)  
Guarapuava, PR, Brasil  
marcelobatista21@hotmail.com

#### **José Edézio da Cunha**

Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo, Brasil  
Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)  
Marechal Candido Rondon, PR, Brasil  
edeziocunha@hotmail.com

#### **Anderson Sandro da Rocha**

Doutor em Geografia física pela Universidade Estadual de Maringá-Brasil  
Professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Santa Helena, PR, Brasil  
andersonsdr@gmail.com

#### **Resumo**

A erosão é problema ambiental que atinge solos agricultáveis brasileiros, principalmente os de textura média, muito suscetíveis aos processos de degradação dos solos. O trabalho apresenta o levantamento de uma vertente no setor de ocorrência dos arenitos do grupo Caiuá, na bacia hidrográfica do rio Paraná. O estudo teve como ponto principal as transformações verticais e laterais dos horizontes pedológicos e seu funcionamento físico-químico, associado ao uso e ao manejo de cultivos temporários. O trabalho, empregou a metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica, aplicada a uma Topossequência Terra Roxa (T1). Este processo de entendimento da vertente fez uso de sondagens realizadas a trado até os 180 cm de profundidade, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10, 20-30, 40-50, 60-70, 80-90, 100-110, 120-130, 140-150 e 160-180 cm, foram analisadas e identificadas as variações presentes. Posteriormente, foram abertas três trincheiras: TR1, TR2, TR3. A topossequência estudada apresenta um sistema pedológico composto por três classes de solo: Latossolo Vermelho Eutrófico, Nitossolo Vermelho Eutrófico e Gleissolo. Os atributos físicos, granulométricos e químicos determinados nos horizontes pedológicos e identificados nas trincheiras. Os latossolos ocupam a parte superior e baixa da vertente, o Nitossolo a média, o Gleissolo, no fundo de vale. A granulometria indicou um acréscimo das frações de areia no fundo de

vale. Os resultados apontaram para um sistema pedológico em uma área de contato entre solos argilosos e solos arenosos em transformação, onde atuam os mecanismos de deslocamento de areia para fundo de vale e o escoamento hídrico superficial. A metodológica aplicada a uma vertente característica do município de Terra Roxa, região Oeste do Estado do Paraná. Tem como objetivo conhecer a distribuição vertical e lateral dos solos na vertente, para entender as modificações impostas por seu uso e manejo e o papel dos cultivos temporários na origem e na potencialidade dos processos erosivos na unidade de paisagem de Guaira.

**Palavras-chave:** Paisagem; Degradação do solo; Relação solo-relevo; Topossequência.

### **Abstract**

*Erosion is an environmental problem that affects Brazilian agricultural soils, especially those of medium texture, which are very susceptible to soil degradation processes. The work presents a survey of a slope in the area where sandstones from the Caiuá group occur, in the Paraná river basin. The main point of the study was the vertical and lateral transformations of pedological horizons and their physical-chemical functioning, associated with the use and management of temporary crops. The work used the methodology of structural analysis of pedological coverage, applied to a Terra Roxa Toposequence (T1). This process of understanding the slope made use of surveys carried out by auger up to a depth of 180 cm, samples were collected at depths of 0-10, 20-30, 40-50, 60-70, 80-90, 100-110, 120-130, 140-150 and 160-180 cm, the variations present were analyzed and identified. Subsequently, three trenches were opened: TR1, TR2, TR3. The toposequence studied presents a pedological system composed of three soil classes: Eutrophic Red Oxisol, Eutrophic Red Nitosol and Gleisol. The physical, granulometric and chemical attributes determined in the pedological horizons and identified in the trenches. The Oxisols occupy the upper and lower part of the slope, the Nitosol in the middle, the Gleisol at the bottom of the valley. Granulometry indicated an increase in sand fractions on the valley floor. The results pointed to a pedological system in an area of contact between clayey soils and sandy soils in transformation, where the mechanisms of sand displacement to the valley floor and surface water flow operate. The methodology applied to a characteristic aspect of the municipality of Terra Roxa, western region of the State of Paraná. It aims to understand the vertical and lateral distribution of soils on the slope, to understand the changes imposed by their use and management and the role of temporary crops in the origin and potential of erosion processes in the Guaira landscape unit.*

**Keywords:** Landscape, Soil degradation, Soil-relief relationship, Toposequence.

### **Introdução**

As intervenções humanas na cobertura pedológica, por meio do uso e do manejo dos solos, produzem alterações em sua dinâmica natural, causando desequilíbrios que implicam nas modificações dos atributos dos solos, principalmente daqueles relacionados à dinâmica hídrica, refletindo na pedogênese e na evolução dos sistemas pedológicos, bem como atuando na instalação de processos erosivos (MARCATTO; SILVEIRA, 2023).

Os processos de degradação das paisagens no estado do Paraná remontam à sua colonização, à retirada da vegetação original para a incorporação de atividades agropecuárias e à utilização de práticas agrícolas que desconsideram as fragilidades naturais dos solos, resultando em degradações severas nas vertentes.

Com isso, os processos de degradação se tornaram mais acentuados a partir de 1960, com a entrada dos cultivos temporários (soja, milho e trigo) e das pastagens, o que diversificou a paisagem rural e acelerou a degradação dos solos (CUNHA; NÓBREGA; CASTRO, 2008). Deste modo, a instalação e a evolução de processos erosivos, motivados pelo manejo inadequado dos solos e de sua degradação, persistem até hoje nas paisagens paranaenses.

Diante desta perspectiva, Filho, Telles e Mello (2015) defendem que os fatores de degradação dos solos são motivados pela cobertura do solo, por práticas de controle do deflúvio superficial inadequadas ou incompletas, pelo cultivo no sentido vertical, pela falta de planejamento e manutenção das estradas rurais e pela exploração agrícola sem levar em consideração a capacidade do solo.

Um dos fatores que impacta na degradação do solo é o uso agrícola sem respeitar o limite de exploração, resultando na degradação de sua estrutura, na sua compactação e na formação das erosões. O processo de cultivo de um solo faz com que haja uma quebra na sua estrutura original, alteração esta que ocorre devido à quebra dos agregados maiores em unidades menores, conseqüentemente, levando a uma redução no volume dos macroporos e um aumento da densidade do solo. Essas alterações refletem na dinâmica hídrica, com a diminuição da infiltração da água e, por conseqüência, o aumento do escoamento superficial (BERTOL *et al.*, 2001; PANACHUKI *et al.*, 2011).

Neste contexto, insere-se a bacia do rio Paraná 3, localizada no oeste do Paraná, na bacia hidrográfica do Paraná 3, mais especificamente na unidade de paisagem de Guaíra, onde se encontram mais quatro grandes unidades: Unidade de São Francisco; Unidade de Foz do Iguaçu; Unidade de Marechal Cândido Rondon e a Unidade de Cascavel, esta última dividida em três subunidades: (A) - subunidade de Toledo, (B) - subunidade de Santa Teresa do Oeste e (C) - subunidade de Nova Santa Rosa. As unidades foram definidas por Bade e Rocha (2013), a partir de um conjunto de informações referentes à estrutura geoecológica, com ênfase nos aspectos geomorfológicos presentes na bacia.

Diante do exposto, são necessários estudos que possibilitem a compreensão da dinâmica dos processos naturais associados à interferência humana no solo, visando entender o seu funcionamento e as conseqüências dessas intervenções, de modo a viabilizar a definição de uma estratégia que minimize os impactos e garanta a sua sustentabilidade.

Vidal Torrado *et al.* (2005) destacam que pesquisas voltadas para a compreensão do sistema pedológico na paisagem, na sua maioria, recorrem à metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica bi e tridimensional como forma de abordagem e representação dos atributos morfopedológicos.

De acordo com Ruellan e Dosso (1993), a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, sistematizada por Boulet *et al.* (1982), tem uma contribuição importante para os estudos voltados para a gênese e a evolução desses recursos naturais, por servirem de auxílio para a compreensão da estrutura e do funcionamento da paisagem, favorecendo a análise sistêmica em diferentes escalas, desde a organização das partículas do solo até a unidade de paisagem.

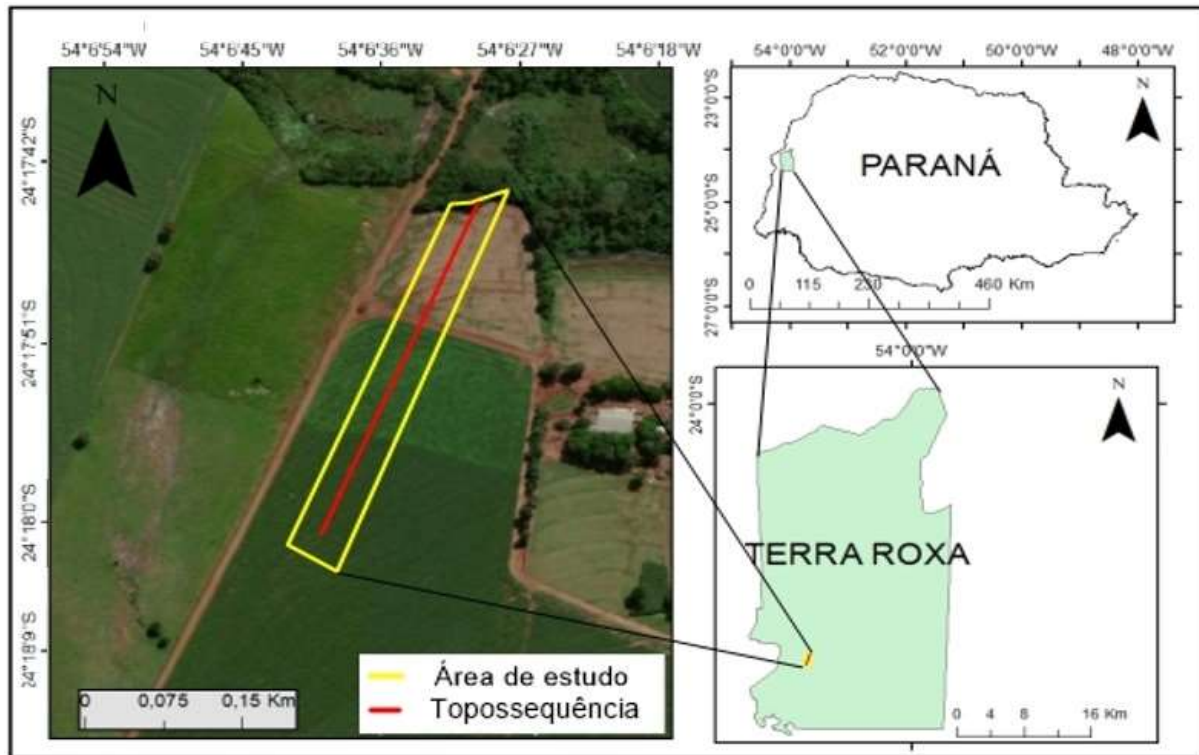
A abordagem morfopedológica, quando aplicada na compartimentação do solo e do relevo, permite a diferenciação na compartimentação morfopedológica, pois caracteriza seus aspectos e relaciona-os com a dinâmica dos processos atuais. Os usos do solo são considerados, então, como processo modificador da dinâmica física natural e caracterizam a compartimentação como um processo de dinâmica da paisagem na escala do lugar (SOUSA; AMORIM, 2020).

Desta feita, o presente artigo tem o objetivo de conhecer a distribuição vertical e lateral dos solos na vertente, compreendendo a modificação imposta pelo uso e pelo manejo e o papel dos cultivos temporários na origem e na potencialidade dos processos erosivos, na unidade de paisagem de Guaíra.

### **Caracterização da Área de Estudo**

A topossequência de solo denominada como “Topossequência Terra Roxa” está localizada no município de Terra Roxa, na região oeste do Estado do Paraná, entre as coordenadas 54° 05' - 54° 00' W e 24° 09' - 24° 00' S (Figura 1). O levantamento e o estudo detalhado dessa topossequência foram realizados por Batista (2018), segundo a metodologia desenvolvida por Boulet *et al.* (1982).

**Figura 1:** Localização da área de estudo



Fonte: Os autores (2023).

A área de estudo da pesquisa limita-se à cobertura pedológica de textura argilosa, mas faz parte de uma zona de contato entre solos argilosos e arenosos, devido a sua geologia estar inserida em um local de transição da Bacia Sedimentar do Paraná, unidade morfoestrutural marcada por apresentar em sua coluna litoestratigráfica os derramamentos basálticos de rochas ígneas do Grupo São Bento Formação Serra Geral, datada do Mesozoico (JKsg), posteriormente recoberta pelos arenitos das rochas sedimentares das formações Caiuá. Estes remontam ao Cretáceo, período geológico em que a Bacia Sedimentar do Paraná estava em processo de evolução estrutural, sem sofrer influência direta de ambiente marinho (SANTOS *et al.*, 2015).

As altitudes do espaço analisado variam de 200 a 400 metros, do fundo de vale até o topo. O município abrange uma área de 800,810 Km<sup>2</sup> e é circundado pelo Rio Paraná (atualmente, Reservatório de Itaipu) a oeste, e, ao norte, pelo Rio Piquiri. Sua vertente está inserida na bacia hidrográfica do rio Chororó. Vale ressaltar que, no que tange à hidrografia, ocorreram mudanças significativas em boa parte da paisagem, como exemplo, a retirada das matas ciliares no ano de 1982, para a formação do Reservatório de Itaipu.

Predomina o clima do tipo subtropical mesotérmico (Cfa), segundo a classificação de Köppen (1936), com uma média de precipitação de 1,400 mm anuais. É importante destacar que o desmatamento ocorreu com a modernização agrícola, iniciada no final da década de 1960, embora Maack (2002) tenha alertado para a necessidade de controle do desmatamento já no início desta mesma década. Atualmente, a vegetação ocupa principalmente as áreas marginais do rio Paraná e de seus afluentes.

## Metodologia

A metodologia utilizada no desenvolvimento do artigo foi a da análise estrutural da cobertura pedológica, preconizada por Boulet *et al.* (1982). A escolha também está fundamentada em Ruellan e Dosso (1993), que a defendem como uma ferramenta que proporciona o entendimento das variações laterais dos horizontes dos solos e de suas transições ao longo da vertente, considerando o solo um "continuum". Assim, pauta-se no desenvolvimento do levantamento topográfico com a utilização de clinômetro, metro, bússola e trena, seguindo as recomendações de Boulet (1988) e de Ruellan (1988).

A análise estrutural da cobertura pedológica foi desenvolvida com o levantamento de dados sobre a distribuição (arranjo lateral e vertical) dos solos na paisagem. Consistiu na realização de sondagens com o uso do trado holandês, com o intuito de conhecer a distribuição inicial das variações vertical e lateral dos horizontes ao longo da vertente, para a averiguação de cor e textura dos materiais, seguindo as recomendações de Boulet (1988) e Ruellan (1988). Nas amostras de solo, coletadas a

cada 10 cm de profundidade até os 1,80 metros, foi identificada a cor por meio da utilização da tabela de cores (*Munsell Soil Color Charts*) (LEMOS; SANTOS, 2003). Estes procedimentos permitiram a coleta sistemática de amostras ao longo de uma vertente e a observação de discontinuidades em camadas ou horizontes do solo.

Para a escolha do local das trincheiras, foram consideradas as condições topográficas e pedológicas da área de estudo, verificadas no trabalho de campo e no levantamento pedológico. Nesta etapa, também foram utilizados os pressupostos teóricos e metodológicos da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET *et al.*, 1982).

No levantamento da área de estudo, considerou-se ainda o tipo de uso da terra, sendo definido o uso com cultivo temporário devido à representatividade que possui (ocupa cerca de 80% da área total cultivada) e às alterações que promove nos atributos dos solos. A partir das informações levantadas e da definição das características da vertente, foi realizado o levantamento de uma topossequência capaz de representar a organização da cobertura pedológica e de suas variações verticais e laterais.

Após a descrição dos horizontes pedológicos nas paredes das trincheiras, houve a coleta de amostras dos solos (deformadas e indeformadas), para a realização das análises de granulometria e densidade do solo e de partículas. Nesta etapa, também foi realizado o teste de resistência à penetração com o penetrômetro de anel dinamométrico. As coletas e os testes de solo foram realizados no meio de cada horizonte identificado.

As determinações físicas foram desenvolvidas conforme os métodos e procedimentos do Manual de Método e Análise de Solo, desenvolvido pela Embrapa (1997). A análise granulométrica foi feita pelo método de pipeta, conforme Teixeira *et al.* (2017). As análises foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Estadual de Maringá (UEM), enquanto as análises físicas no laboratório de meio ambiente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), sendo elas: densidades do solo (DS) e de partícula (DP), porosidade total (PT) e resistência do solo à penetração (RP).

As determinações químicas foram conduzidas com base nos procedimentos propostos por Pavan *et al.* (1992), sendo realizadas no Laboratório de Agronomia da Unioeste, *campus* de Marechal Cândido Rondon. Dentre os estudos químicos, foram analisados: Fósforo, Determinação do Potássio - Determinação do pH CaCl<sub>2</sub>, acidez trocável (Al) em KCl, Fatoração da solução de NaOH 1, ON, acidez potencial (H + Al) com a solução de CaAc<sub>2</sub>, acidez potencial (H + Al) com a solução tampão SMP, Ca e Mg trocáveis em KCl e carbono orgânico.

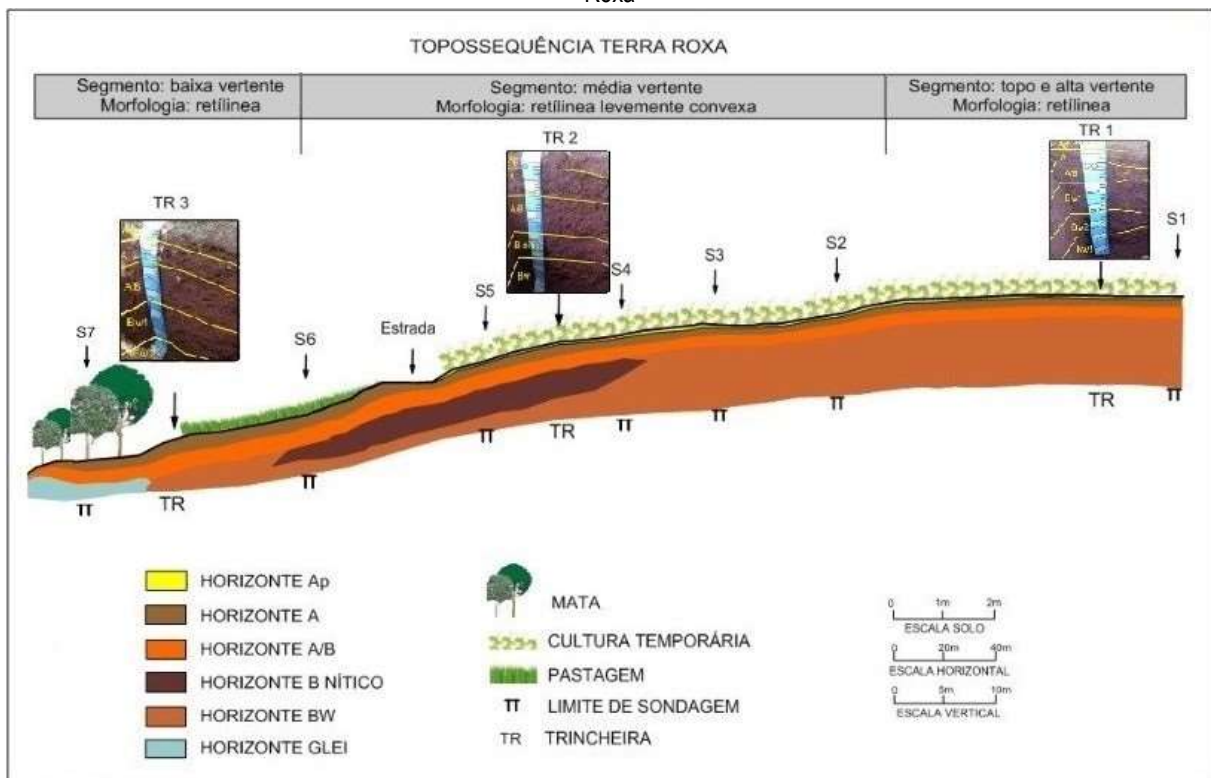
## Resultados e Discussão

O vale onde a topossequência está localizada apresenta forma de V aberto. A vertente é

convexa suave (0 a 3% de declividade nos topos, 6 a 9% na média vertente e 9 a 12% na baixa vertente), não apresentando rupturas de declives significativas. O fundo de vale apresenta uma sutil concavidade, que tem favorecido a concentração do escoamento superficial e a permanência do lençol freático próximo à superfície. Não foi observado afloramento da rocha subjacente.

A Topossequência Terra Roxa se localiza na margem esquerda do Rio Choroó, com altitude de 376 metros no topo e término com 338 metros. Com extensão de 1.040 metros, possui variação altimétrica de 38 metros, do topo até a última sondagem, localizada na baixa vertente. A declividade média é de 3% e a máxima de 12% (Figura 2).

**Figura 2:** Distribuição lateral e vertical dos solos com a posição das trincheiras e sondagens na Topossequência Terra Roxa



Fonte: Os autores (2023).

## Horizontes Pedológicos

Os horizontes pedológicos (Figura 2) observados ao longo da topossequência são:

**Horizonte Ap:** trata-se de um horizonte superficial que ocorre ao longo da vertente do segmento de topo (entre as sondagens 1 e 5), onde foi decapitado devido ao uso atual da terra, ao cultivo temporário e à presença da estrada, acarretando uma mudança de cultivo (pastagem). Esse horizonte apresenta espessura de 0 a 5 cm; coloração bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4), textura argilosa e consistência plástica e ligeiramente pegajosa. Verticalmente, passa de forma gradual para o horizonte subjacente A (terço superior e médio da vertente).

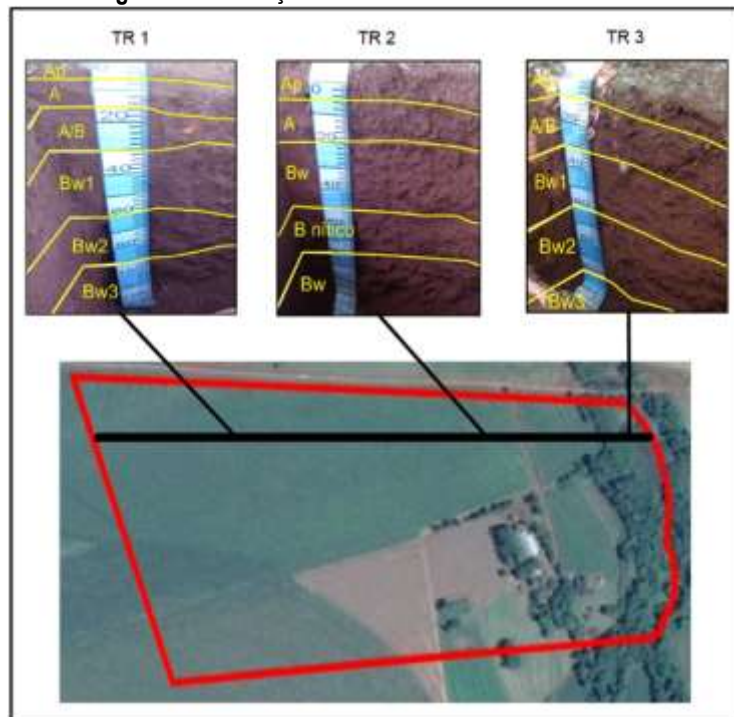
**Horizonte A:** ocorre sob o horizonte Ap, encontrado em toda a extensão da vertente (transição gradual); tem espessura de cerca de 25 cm; coloração bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4), textura argilosa e consistência plástica e ligeiramente pegajosa, transição gradual.

**Horizonte A/B:** encontrado em toda a extensão da vertente, com transição gradual e espessura de 15 cm; cor predominante é o bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4); sua textura é argilosa, com boa plasticidade e maior pegajosidade se comparado ao horizonte superficial.

**Horizonte B nítico:** de cor vermelho escuro acinzentado (10R 3/3), apresenta textura argilosa e estrutura em blocos de forte resistência. Sua textura se apresenta de forma plástica e pegajosa, sua transição lateral é de forma gradual. Com espessura de 30 cm, sua ocorrência fica restrita a algumas sondagens (4, 5 e 6)

**O horizonte Bw:** foi subdividido em Bw1, Bw2, Bw3. Sua ocorrência se dá por toda a vertente, com transição gradual lateralmente e profundidade de 180 cm; com cor Vermelho brunado escuro (2,5YR 5/4), textura argilosa e consistência plástica e pegajosa. Em termos de estrutura, apresenta-se friável (Figura 3).

Figura 3: Localizações das trincheiras na área de estudo<sup>1</sup>



Fonte: Os autores (2023).

O uso dos solos ao longo da vertente se mantém o mesmo, com a aplicação do plantio direto. No setor de alta e média vertente, é utilizado por culturas temporárias, tais como soja, milho e trigo, enquanto a baixa vertente é empregada para pastagem.

<sup>1</sup> TR1, TR2, e TR3 são as trincheiras; o polígono vermelho é a propriedade e a linha preta a topossequência.

### Distribuição Granulométrica dos Horizontes Pedológicos e Sistema Pedológico

A caracterização granulométrica da topossequência é representada na tabela 1 e a distribuição vertical de argila, areia e silte na Figura 4. A análise dos resultados da granulometria revelou aumento de areia e silte em superfície, o que foi observado em todas as amostras, principalmente, no fundo de vale até os primeiros 60 cm.

A dispersão da argila no decorrer da vertente tende a diminuir do topo ao fundo do vale, decorrente do aumento de declividade, o que motiva a maior perda de argila pelo escoamento. No segmento de alta vertente, compreendido pelo Latossolo Vermelho (TR 1), fica evidente o aumento da argila em profundidade. O horizonte superficial A apresenta 548,6 g.kg<sup>-1</sup> no seu teor de argila, relativamente baixo se comparado com os horizontes subsuperficiais (A/B e Bw), indicando uma provável perda dessas partículas em superfície, mas sem configurar acréscimo texturais abaixo. As variações nos teores de argila em profundidade são relativamente pequenos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Granulometria da Topossequência Terra Roxa

| Horizonte     | Profundidade | Granulometria g.kg <sup>-1</sup>    |            |              |       |
|---------------|--------------|-------------------------------------|------------|--------------|-------|
|               |              | Argila                              | Silte Fino | Silte Grosso | Areia |
| <b>TR – 1</b> |              | <b>LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |            |              |       |
| A             | 0 – 15       | 548,6                               | 174,5      | 135,3        | 141,6 |
| A/B           | 15 – 30      | 641,3                               | 81         | 179,2        | 98,3  |
| Bw1           | 30 – 60      | 639,6                               | 67,5       | 198,3        | 94,5  |
| Bw2           | 60 – 90      | 674,8                               | 76,7       | 140,3        | 107,9 |
| Bw3           | 90+          | 647,1                               | 75,2       | 184,0        | 93,5  |
| <b>TR – 2</b> |              | <b>NITOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |            |              |       |
| A             | 0 – 20       | 420,1                               | 182,2      | 92,3         | 305,3 |
| A/B           | 20 – 50      | 540,6                               | 92,5       | 160,4        | 205,4 |
| B nítico      | 50 – 80      | 555,3                               | 71,2       | 150,7        | 222,6 |
| Bw            | 80 +         | 540,8                               | 85         | 149,8        | 227,7 |
| <b>TR – 3</b> |              | <b>LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |            |              |       |
| A             | 0 – 30       | 278,4                               | 236,9      | 163,1        | 291,5 |
| A/B           | 30 – 60      | 463,2                               | 168,0      | 155,1        | 213,2 |
| Bw1           | 60 – 100     | 617,8                               | 68,7       | 176,3        | 137,0 |
| Bw2           | 100 +        | 639,1                               | 75,7       | 125,3        | 159,7 |

Fonte: Os autores (2023).

Os dados granulométricos dos perfis pedológicos apontam, de forma geral, para o predomínio da fração argila em todos os horizontes, dentre as quais a fração silte, que apresentou valores elevados (Figura 4). Outra observação relevante é o aumento da argila em profundidade em todos os solos analisados, principalmente no Latossolo Vermelho Eutrófico presente no fundo de vale, que possui horizontes argilosos.

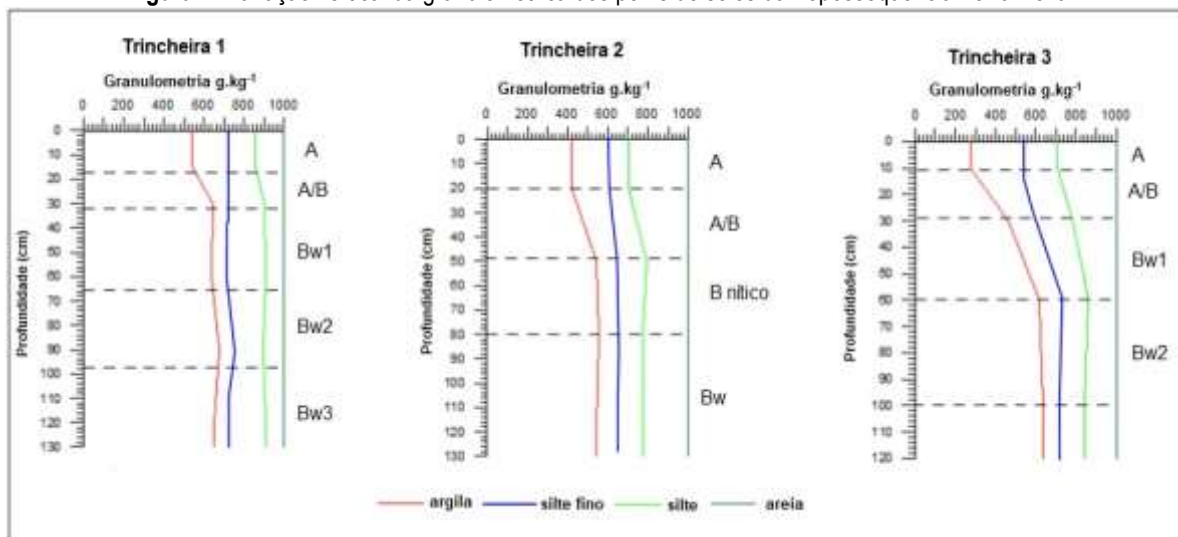
Na figura, nota-se que, no topo da vertente, os valores de argila possuem reduzidas variações vertical e lateral, com teores entre 548,6 e 278,4 em direção a jusante. O aumento gradativo da declividade se correlaciona com a distribuição da fração argila. Entre as sondagens 6 e 7, verificou-se a presença de horizontes superficiais com uma quantidade menor de argila, sugerindo a perda de

material fino (eluviação) e a distribuição do silte e da areia em um processo de iluviação, devido ao acúmulo de material mais grosso, como silte e areia.

A partir da sondagem 7, em direção ao fundo de vale presente na baixa vertente, os horizontes superficiais formam um pacote com uma concentração muito elevada de silte e areia. Ao contrário, em profundidade ocorre uma concentração da argila. Em relação ao grau de dispersão de argila, a sondagem 7 verificou ser maior nos primeiros 60 cm de profundidade da cobertura do Latossolo, com valores variando de silte fino, 404,9, silte grosso, 308,2, e areia, 504,7 (conforme Tabela 1). A mobilidade da argila pode estar relacionada com o manejo de cultivo temporário (soja, trigo e milho), seja pelo revolvimento do solo ou pela adição de fertilizantes e corretivos químicos, que podem causar desequilíbrios no complexo sortivo do solo, conforme observado nos estudos de (MARCATTO; SILVEIRA, 2023).

A Figura 4 mostra a distribuição granulométrica no perfil de solo conforme os horizontes identificados, dando uma visão vertical e lateral de sua distribuição na topossequência.

**Figura 4:** Variação vertical da granulométrica dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa



Fonte: Os autores (2023).

No segmento da média vertente, esses valores variam de 420,1 g.kg<sup>-1</sup>, no horizonte A, a valores de 540,8 g.kg<sup>-1</sup>, no Bw. O segmento da baixa vertente é onde se encontra uma variação mais significativa, que passa de 278,4 g.kg<sup>-1</sup>, no horizonte A, para 639,1 g.kg<sup>-1</sup>, no Bw, fato que está atrelado à perda de argila na camada superior do solo e também à deposição de silte e areia na vertente acima.

Cabe ressaltar que na TR 1 os valores de argila são superiores aos da TR 2 e TR 3 (Tabela 1). Na TR 2, na média vertente, os teores de areia são relativamente altos e verifica-se arenitos entremeados aos basaltos.

Na média vertente, no surgimento do horizonte B nítico, percebeu-se que este está entremeado com o Bw, sugerindo que o Bw está sofrendo um processo de degradação de baixo para cima, dando origem a um B nítico. Silva *et al.* (2020) afirmam em seu trabalho que as transformações morfológicas são embasadas em evidências obtidas em campo e por estudos regionais.

Mais próximo do rio encontra-se um horizonte glei. A transição lateral deste conjunto pedológico, da alta até a baixa vertente, ocorre de forma gradual. A principal diferença está, portanto, na variação estrutural. No horizonte B nítico, os agregados são mais resistentes. Vale destacar que a topossequência estudada está em uma área de transição geológica, com solos argilosos (Basalto) e solos arenosos (Arenito Caiuá).

### Análise Química

Em relação às características químicas, elas variam vertical e lateralmente em função do manejo e das características dos solos (Tabela 2). Os valores de pH H<sub>2</sub>O variam de 5,39 a 6,39 ao longo da topossequência (Tabela 2), enquadrando-se nas classes de reação média a praticamente neutro, segundo a classificação da Embrapa (2015). Em geral, o pH é maior nos horizontes superficiais e diminui progressivamente com a profundidade.

**Tabela 2:** Atributos químicos dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa<sup>2</sup>

| Horizontes                          | Profundidade (cm) | pH               |                   | P mg. dm <sup>-3</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | SB   | H+Al | CTC a pH 7,0 | V %   | MO g.dm <sup>3</sup> |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|----------------|------|------|--------------|-------|----------------------|
|                                     |                   | H <sub>2</sub> O | CaCl <sub>2</sub> |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| <b>LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |                   |                  |                   |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| TR - 1                              |                   |                  |                   |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| A                                   | 0 – 15            | 5,65             | 4,89              | 36,57                  | 3,94             | 1,03             | 0,34           | 5,31 | 3,73 | 9,04         | 58,74 | 10,94                |
| A/B                                 | 15 – 30           | 5,70             | 5,07              | 1,39                   | 2,40             | 0,66             | 0,34           | 3,39 | 3,29 | 6,68         | 50,77 | 4,10                 |
| Bw1                                 | 30 – 60           | 6,00             | 5,40              | 0,29                   | 2,00             | 0,53             | 0,34           | 2,87 | 2,81 | 5,68         | 50,53 | 4,10                 |
| Bw2                                 | 60 – 90           | 6,11             | 5,64              | 1,26                   | 2,27             | 0,53             | 0,13           | 2,93 | 2,65 | 5,58         | 52,54 | 4,10                 |
| Bw3                                 | 90+               | 6,39             | 5,80              | 1,19                   | 2,05             | 0,49             | 0,04           | 2,58 | 2,74 | 5,32         | 48,48 | 1,37                 |
| <b>NITOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |                   |                  |                   |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| TR - 2                              |                   |                  |                   |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| A                                   | 0 – 20            | 5,60             | 5,05              | 58,72                  | 2,30             | 0,86             | 0,58           | 3,73 | 3,68 | 7,41         | 50,37 | 13,67                |
| A/B                                 | 20 – 50           | 5,99             | 5,51              | 0,96                   | 2,54             | 0,74             | 0,49           | 3,78 | 2,87 | 6,65         | 56,83 | 6,84                 |
| B nítico                            | 50 – 80           | 6,11             | 5,66              | 1,09                   | 2,50             | 0,58             | 0,23           | 3,30 | 2,81 | 6,11         | 54,02 | 1,37                 |
| Bw                                  | 80 +              | 6,24             | 5,80              | 1,00                   | 2,87             | 0,49             | 0,16           | 3,52 | 2,65 | 6,17         | 57,07 | 2,05                 |
| <b>LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |                   |                  |                   |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| TR - 3                              |                   |                  |                   |                        |                  |                  |                |      |      |              |       |                      |
| A                                   | 0 – 30            | 5,39             | 4,78              | 0,64                   | 2,15             | 1,19             | 0,24           | 3,58 | 4,16 | 8,19         | 43,73 | 6,84                 |
| A/B                                 | 30 – 60           | 5,64             | 4,94              | 0,97                   | 3,39             | 0,62             | 0,15           | 4,16 | 3,99 | 8,15         | 51,07 | 10,94                |
| Bw1                                 | 60 – 100          | 5,97             | 5,16              | 1,03                   | 4,79             | 0,58             | 0,11           | 5,48 | 3,29 | 8,77         | 62,47 | 4,10                 |
| Bw2                                 | 100 +             | 6,06             | 5,43              | 0,88                   | 4,07             | 0,62             | 0,14           | 4,82 | 2,87 | 7,69         | 62,70 | 1,37                 |

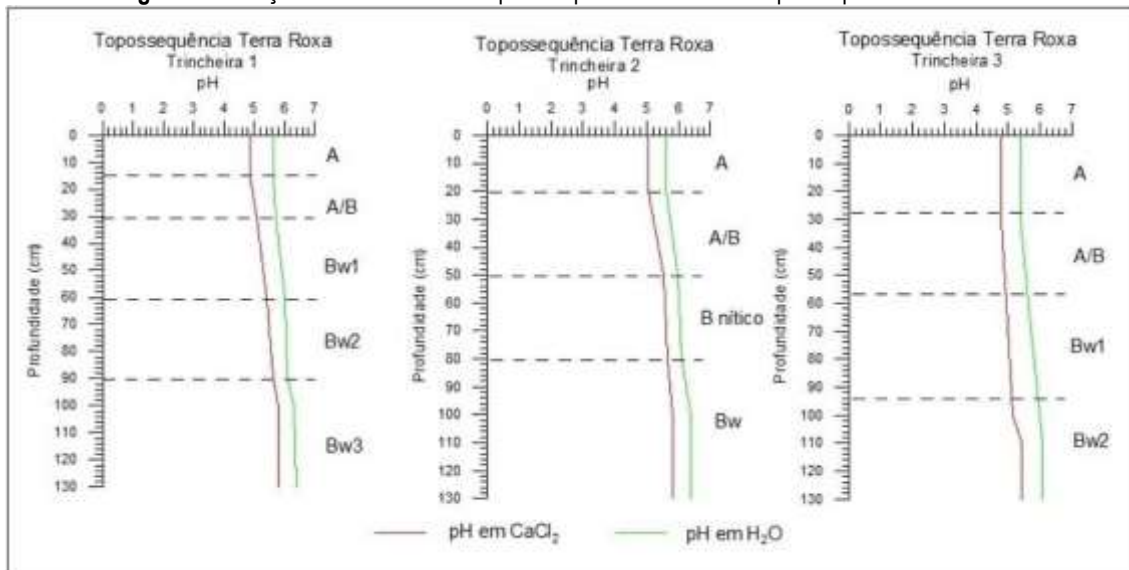
Fonte: Os autores (2023).

A ocorrência de horizontes superficiais menos ácidos se associa ao manejo do solo, visto que a adição de corretivos químicos aumenta os íons de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> perdidos pela lixiviação e pela erosão,

<sup>2</sup> P: Fósforo; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio; K<sup>+</sup>: Potássio; SB: Soma de Base; H+Al: Acidez Potencial; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; V%: Saturação por Base; MO: Matéria Orgânica.

resultando na diminuição da acidez potencial do solo (MAIA; RIBEIRO, 2004). A Figura 5 demonstra o grau de acidez do solo de maneira vertical e horizontal.

**Figura 5:** Variação vertical e lateral do pH dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa



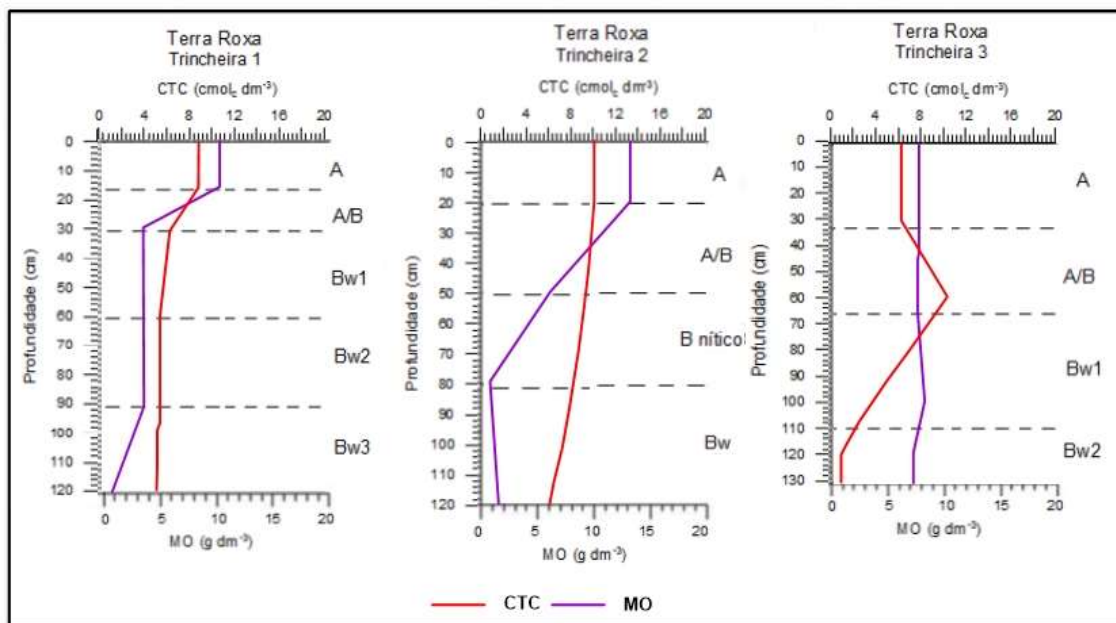
Fonte: Os autores (2023).

Em relação às bases trocáveis dos solos, predominam o Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, que variam entre os perfis. Na cobertura onde está presente o Latossolo em alta vertente, há uma diminuição gradativa entre os perfis, sendo que a soma das bases é maior em superfície (5,31 cmolcdm<sup>-3</sup>) e diminui no horizonte Bw<sup>1</sup> (2,87 cmolcdm<sup>-3</sup>). Na cobertura onde se encontra o Nitossolo, os valores foram aleatórios ao longo do perfil, sendo mais elevados no horizonte A/B (3,78 cmolcdm<sup>-3</sup>). Na cobertura onde se encontra o Latossolo em fundo de vale, os valores variam entre 3,58 cmolcdm<sup>-3</sup> e 5,48 cmolcdm<sup>-3</sup>, sendo maiores nos horizontes mais profundos, que também possuem menor grau de desenvolvimento pedogenético.

Sem a presença de alumínio trocável ao longo da topossequência, há a indicação de calagem, isto é, houve a correção de solo devido ao baixo valor do seu pH. De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), após a calagem, se houver a elevação do pH para um valor superior a 5,5; o teor de Al<sup>3+</sup> deverá assumir o valor zero, uma vez que acima de pH 5,5 não há presença de alumínio na forma de Al<sup>3+</sup>.

A capacidade de troca catiônica total dos solos apresentou valores altos, condizentes com o teor de argila presente nos horizontes pedológicos e o elevado teor de MO em superfície. Os valores variam de 5,32 a 9,04 cmolc kg<sup>-1</sup> entre os perfis descritos na topossequência, sendo maiores nos horizontes superficiais, o que pode ser motivado pela maior presença de MO (Figura 6), possibilitando a formação de argila mais ativa, a qual influencia valores mais elevados de CTC, conforme Souza *et al.* (2007).

Figura 6: Relação CTC com a MO dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa



Fonte: Os autores (2023).

É importante destacar o papel tanto da matéria orgânica quanto da CTC. Suas funções são fundamentais para a formação dos agregados na estruturação do solo. De acordo com Magalhães (2013), o fenômeno de dispersão – floculação – é influenciado pelos teores de matéria orgânica presentes no solo. Valores maiores do que 15 cmolc dm<sup>-3</sup> indicam presença de argila 2:1 na fração argila, enquanto valores menores que 5 cmolc dm<sup>-3</sup> indicam baixo teor de argila ou predominância de argila 1:1, como a caulinita (EMBRAPA, 2015).

A saturação por base (V%) foi maior nos horizontes superiores e naqueles com acúmulo de argila. Os valores variam entre 43,73% e 62,70%, com menores teores nos horizontes A e Bw<sup>3</sup> da cobertura do Latossolo, indicando a perda por base por lixiviação (Tabela 2).

Conforme a Embrapa (2006), a saturação por base serve como um parâmetro para a separação de solos férteis, com valores de (V%>50), considerados eutróficos e solos menos férteis, com valores de (V%<50), denominados distróficos.

Vale destacar também o teor de fósforo (P), encontrado em alta quantidade na alta e média vertente do horizonte A, como mostra a Tabela 2. Já na baixa vertente, com o uso da pastagem, esse teor aparece em baixa quantidade. Na alta e média vertente, com o cultivo direto, nota-se que ocorreu a correção por fósforo, sugerindo que, nesta área, houve uma adição do produtor para aumentar o processo de metabolismo das plantas, melhorando a respiração e o processo de fotossíntese.

### As relações entre as análises físicas

No que se refere às condições físicas do sistema pedológico, o Latossolo e o Nitossolo, de textura argilosa, oriundos do basalto da Formação Serra Geral, ficou claro que os processos de adensamentos estão, em média, entre 0 e 60 cm de profundidade, em toda a extensão da vertente, corroborando com Richart *et al.* (2005) quando estes apontam que a compactação das camadas superficiais e subsuperficiais são comuns em solos com cultivo intenso. Acrescenta-se a isso que os autores destacam que a compactação do solo promove mudanças na organização do espaço poroso, alterando a microporosidade e impedindo a infiltração da água.

A densidade do solo (DS), a resistência do solo à penetração (RP) e a porosidade total (PT) foram utilizadas para avaliar a qualidade dos solos encontrados ao longo da topossequência estudada, permitindo inferências sobre os aspectos ligados à compactação (Tabela 3). Estes atributos se relacionaram diretamente, de modo que o aumento da densidade representa um aumento na resistência e, conseqüentemente, uma redução na porosidade.

**Tabela 3:** Atributos físicos dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

| Horizonte     | Profundidade                        | Resistência Penetração | Densidade kg.dm <sup>-3</sup> |           | Porosidade Total | silte/argila |
|---------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------|------------------|--------------|
|               |                                     | Mpa                    | Solo                          | Partícula | (%)              |              |
| <b>TR - 1</b> | <b>LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |                        |                               |           |                  |              |
| A             | 0 – 15                              | 2,74                   | 1,38                          | 2,83      | 51,23            | 0,5          |
| A/B           | 15 – 30                             | 2,74                   | 1,29                          | 2,83      | 54,41            | 0,4          |
| Bw1           | 30 – 60                             | 2,45                   | 1,19                          | 2,96      | 59,79            | 0,4          |
| Bw2           | 60 – 90                             | 2,45                   | 1,24                          | 2,90      | 57,24            | 0,3          |
| Bw3           | 90+                                 | 2,54                   | 1,23                          | 3,16      | 61,07            | 0,4          |
| <b>TR - 2</b> | <b>NITOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |                        |                               |           |                  |              |
| A             | 0 – 20                              | 3,72                   | 1,47                          | 2,85      | 48,42            | 0,6          |
| A/B           | 20 – 50                             | 3,33                   | 1,35                          | 2,75      | 50,90            | 0,4          |
| B nítico      | 50 – 80                             | 2,94                   | 1,40                          | 3,01      | 50,53            | 0,3          |
| Bw            | 80 +                                | 2,35                   | 1,33                          | 2,78      | 52,15            | 0,4          |
| <b>TR - 3</b> | <b>LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO</b> |                        |                               |           |                  |              |
| A             | 0 – 30                              | 2,94                   | 1,35                          | 2,80      | 51,78            | 1            |
| A/B           | 30 – 60                             | 2,74                   | 1,31                          | 2,87      | 54,35            | 0,6          |
| Bw1           | 60 – 100                            | 2,74                   | 1,33                          | 2,86      | 53,49            | 0,3          |
| Bw2           | 100 +                               | 2,64                   | 1,32                          | 2,96      | 55,40            | 0,3          |

**Fonte:** Os autores (2023).

Na cobertura onde se encontra o Latossolo da alta vertente, a densidade do solo é maior nos horizontes superficiais, diminuindo progressivamente em profundidade, nos horizontes A e A/B, com 1,38 g.cm<sup>3</sup> e 1,29 g.cm<sup>3</sup>, respectivamente, e 1,19 g.cm<sup>3</sup> no Bw1.

Os índices de compactação apontados pela densidade do solo são reforçados pela resistência à penetração, com valores de 2,35 Mpa no Bw, variando para 3,72 Mpa no horizonte A. A Figura 7 mostra uma relação entre ambas as análises, permitindo a maior veracidade nos dados de densidade do solo e resistência à compactação.

### Relação entre a resistência à penetração e a densidade do solo

A variação vertical e lateral dos dados de DS encontrados na Toposequência de Terra Roxa (Tabela 3) evidencia maior adensamento dos horizontes superficiais (A e A/B), aproximadamente até 60 cm. Visando a uma melhor interpretação dos dados associados ao adensamento e/ou à compactação dos solos, foram comparados os resultados de RP com os de DS, sendo possível verificar que os valores apresentaram importantes correlações (Figura 7). Nos horizontes A e A/B são encontrados valores mais elevados de RP e DS. Na trincheira 1, localizada no segmento de alta vertente, com presença de Latossolo Vermelho, os valores de DS no horizonte A são de  $1,38 \text{ kg. dm}^{-3}$ , na profundidade de 0 a 15 cm, e de  $1,29 \text{ kg. dm}^{-3}$  no A/B, na profundidade de 15 a 30 cm. Para fins de comparação, verificou-se que o horizonte A apresenta valores críticos e o A/B se encontra no limite do aceitável no que tange à compactação dos solos. De acordo com Arshad *et al.* (1996), os valores denominados como críticos para solos argilosos estão entre  $1,30$  e  $1,40 \text{ kg. dm}^{-3}$ .

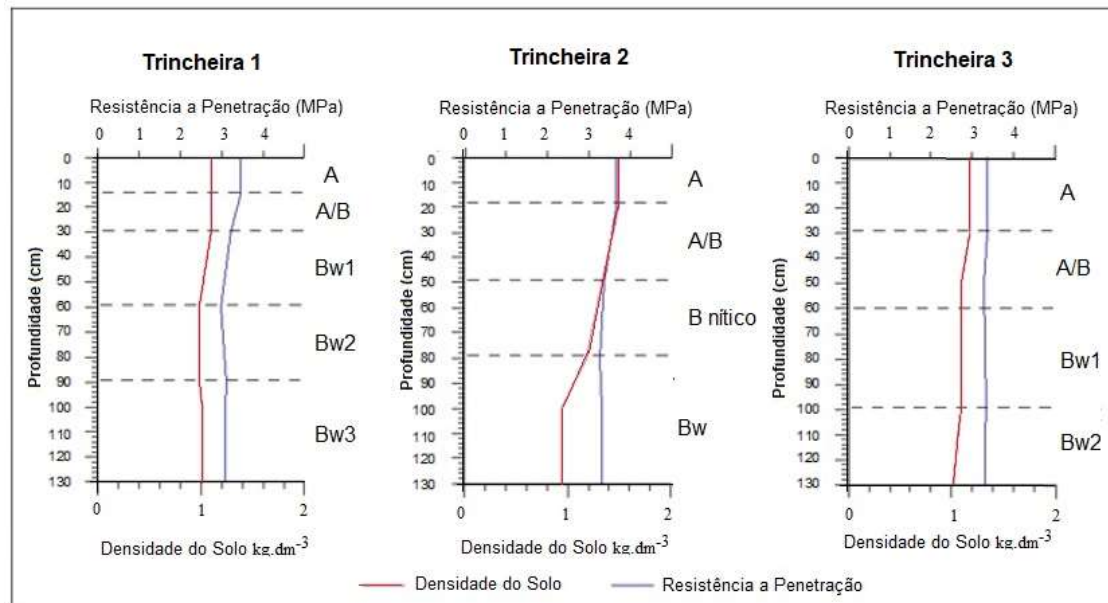
Também foi verificado que os horizontes A e A/B apresentam valores de  $2,74 \text{ MPa}$  na profundidade de 0 a 50 cm, e que esses valores são considerados altos para solos argilosos. Segundo Arshad *et al.* (1996), valores  $2,0 \leq \text{RP} < 4,0 \text{ MPa}$  são sempre considerados altos.

Na trincheira 2, segmento de média vertente, onde foi identificado o Nitossolo Vermelho, verificaram-se valores de DS elevados na topossequência, no horizonte A sendo de  $1,47 \text{ kg. dm}^{-3}$ , na profundidade de 0 a 20 cm, e de  $1,35 \text{ kg. dm}^{-3}$  no horizonte A/B, na profundidade entre 20 e 50 cm. A resistência à penetração do horizonte A é de  $3,72 \text{ MPa}$  e de  $3,33 \text{ MPa}$  no horizonte A/B. Deste modo, os valores mais elevados da trincheira 2, em profundidade, podem estar associados à presença do horizonte B nítico.

Na trincheira 3, segmento de baixa vertente, onde volta a surgir o Latossolo Vermelho, a densidade do solo no horizonte A é de  $1,35 \text{ kg. dm}^{-3}$ , na profundidade de  $2,94 \text{ MPa}$ , e no horizonte 0 a 30 cm é de  $1,31 \text{ kg. dm}^{-3}$ , no horizonte A/B na profundidade de 30 a 60 cm. Os valores de resistência à penetração do horizonte A são de  $2,94 \text{ MPa}$  e no horizonte A/B de  $2,74 \text{ MPa}$ . Apesar da diminuição dos valores de DS em relação à TR2, estes ainda são classificados como críticos, já que os valores de RP continuam altos. Nota-se que esses valores continuam altos mesmo em profundidade (horizonte B), onde atingem o valor mais alto desse perfil (Figura 7).

Com relação à densidade do solo, fica evidente que os valores encontrados na topossequência são altos, entre  $1,29$  e  $1,47 \text{ kg. dm}^{-3}$  na profundidade de 0 a 60 cm. Esses valores, de acordo com Camargo e Alleoni (2006), dificultam o crescimento radicular das plantas, pois o limite considerado crítico para solos argilosos é de  $1,30$  a  $1,40 \text{ kg. dm}^{-3}$ .

Figura 7: Relação entre a Resistência à Penetração (RP) e a Densidade do Solo (Ds) dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa



Fonte: Os autores (2023).

Vale salientar que a interpretação da resistência à penetração depende de uma série de fatores. Em geral, para Latossolos Vermelhos, onde é aplicado o cultivo de soja ou milho em sistema de plantio direto, observam-se valores críticos entre 2,0 MPa e 2,6 MPa, ou mesmo acima de 3,5 MPa (RICHART *et al.*, 2005). Para os autores, esses valores altos podem ser considerados limitantes para o crescimento das plantas, o que afeta diretamente a produção.

Seguindo os mesmos parâmetros, Beutler *et al.* (2006) constataram que valores de densidade do solo a partir de 2,24 MPa, já são suficientes para que ocorram prejuízos em um plantio de soja. Com base nesses parâmetros, verifica-se que os dados dos horizontes superficiais dos solos da topossequência apresentam índices críticos de compactação em quase toda a sua extensão. Beutler *et al.* (2006) afirmam que solos compactados causam alterações no processo de distribuição das raízes, pois representam um impedimento físico, ou seja, há uma diminuição na quantidade e no diâmetro dos poros, que acabam por reduzir o processo de infiltração da água no solo, podendo dar início ao escoamento superficial, laminar e linear.

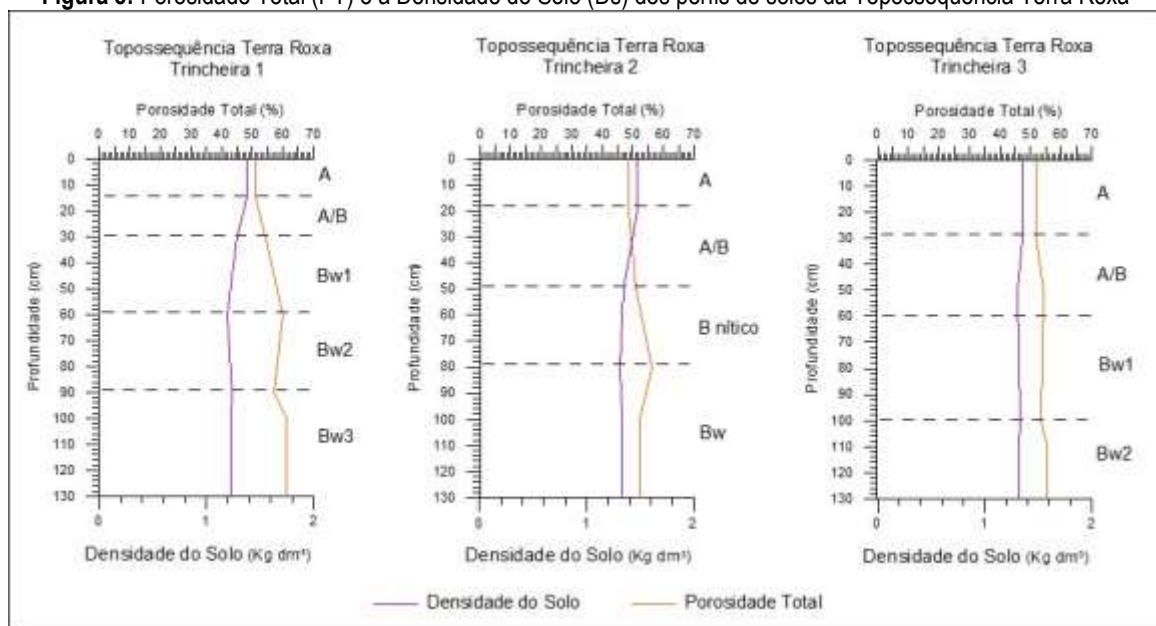
### Relação entre a densidade do solo e a porosidade total

A porosidade total (PT) tem papel importante na conservação do solo. Quando se retira a cobertura original para a ocupação antrópica, muitas vezes, ocorrem mudanças no espaço poroso devido ao adensamento do solo.

Ao analisar os dados de porosidade total, verificou-se uma variação ao longo da vertente (Figura 8; Tabela 3), com importantes correlações com a densidade do solo. Os solos apresentaram aumento em sua densidade e diminuição da sua porosidade em superfície. Na trincheira 1, o horizonte A tem valores de  $1,38 \text{ kg. dm}^{-3}$  e  $51,23\%$ , enquanto no A/B valores são de  $1,29 \text{ kg. dm}^{-3}$  e  $54,41\%$ , nos quesitos densidade e porosidade, respectivamente. No Nitossolo, encontrado no segmento de média vertente, o horizonte A apresentou  $1,47 \text{ kg. dm}^{-3}$  de densidade e  $48,42\%$  de porosidade, tendo o A/B valores de  $1,35 \text{ kg. dm}^{-3}$  e  $50,90\%$ .

Já o Latossolo Vermelho, encontrado no segmento de baixa vertente, na trincheira 3, apresentou DS de  $1,35 \text{ kg. dm}^{-3}$  e PT de  $51,78\%$ , no horizonte A, e DS de  $1,31 \text{ kg. dm}^{-3}$  e PT  $54,35\%$ , no horizonte A/B (Figura 8).

**Figura 8:** Porosidade Total (PT) e a Densidade do Solo (Ds) dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa



Fonte: Os autores (2023).

Os resultados de porosidade total, em geral, apresentam valores aceitáveis para os padrões agrícolas. Segundo Camargo e Alleoni (2006), um solo ideal apresenta porcentagens superiores a  $50\%$  de porosidade. No que se refere à capacidade de campo, esse valor se subdivide em  $33,5\%$  ocupado por água e  $16,5\%$  ocupado por ar. Nota-se, no entanto, que a única realidade abaixo dos  $50\%$  é encontrada na trincheira 2, no segmento de média vertente, onde se verifica uma porosidade de  $48,42\%$  no horizonte A. Este valor está atrelado ao uso agrícola da área.

Os percentuais de porosidade total têm importância muito grande na conservação dos solos e dos recursos hídricos, sendo fundamentais para a manutenção da produtividade agrícola. Segundo Marcatto (2016), a diminuição dos espaços porosos impacta a produtividade, pois interfere diretamente

no crescimento das plantas, tendo em vista que a movimentação vertical e lateral de ar, água e nutrientes nos solos depende da porosidade.

Desse modo, a menor porosidade evidenciada nos horizontes A e A/B, bem como a redução da densidade do solo, permitem observar que tais condições estão particularmente associadas às alterações produzidas pelo uso e pelo manejo do solo nos horizontes mais superficiais ao longo do tempo. Segundo Marcatto e Silveira *et al.* (2023), as ações antrópicas têm grande influência, pois promovem modificações no solo com as suas práticas (aração, gradeamento, passagem de maquinários, etc.), o que resulta em maior adensamento (compactação) das camadas superiores.

É importante destacar que, embora a porosidade total esteja próxima aos 50% nos horizontes superficiais, os dados de densidade do solo e resistência à penetração evidenciam que o solo está em um estágio de compactação, oriundo das práticas de uso e manejo desenvolvidas na área. Essa maior compactação em superfície pode contribuir para o desenvolvimento do escoamento superficial e aumentar a vulnerabilidade ambiental, acarretando os processos erosivos. Neste contexto, cabe considerar que a mecanização do solo para o uso agrícola deve ser acompanhada de técnicas de manejo que previnam a compactação dos solos.

Entre as práticas mais indicadas para a redução do escoamento superficial e o controle de erosão estão: diminuir o tráfego de máquinas e equipamentos pesados quando o solo estiver úmido; evitar o uso de arado e grades no preparo do solo para o cultivo; e usar o subsolador e o escarificador ideal para cada tipo de solo ao se realizar a descompactação do solo. Dentre as práticas, podem ainda ser realizadas a correção da metragem das curvas de nível, a rotação de culturas e a incorporação de matéria orgânica no solo (MARCATTO; SILVEIRA, 2023).

Com a utilização de práticas conservacionistas por parte dos agricultores, os efeitos da compactação dos solos podem ser minimizados, e a vulnerabilidade à erosão pode ser reduzida, gerando uma melhoria na qualidade dos atributos físicos e químicos da cobertura pedológica.

## Conclusão

As análises demonstraram que o sistema pedológico composto por Latossolo - Nitossolo - Latossolo está em desequilíbrio, com transformações pedogenéticas associadas aos fluxos hídricos verticais e laterais. As transformações identificadas sugerem que o Latossolo localizado na base da vertente está em constante alteração e atuação contínua dos mecanismos de e-iluviação, o que pode resultar na sua transformação em Nitossolo.

Além da dinâmica natural do sistema pedológico, as formas de uso e manejo dos solos intensificaram suas transformações. As principais causas de alterações estão associadas ao manejo

dos cultivos temporários (soja, milho e trigo), que promovem a reorganização das partículas dos solos, resultando no aumento da densidade do solo e da resistência à penetração, interferindo no sistema poroso e, conseqüentemente, na movimentação de água no solo. Ainda, foi constatada a compactação, que contribui para o escoamento superficial e o carregamento de partículas, evidenciadas pela ocorrência de processos erosivos, pela adição de fertilizantes químicos e pelo revolvimento do solo, possibilitando o aumento da dispersão da fração argila.

A quantidade elevada de silte e areia está motivada pela vertente estar localizada em uma área de contato geológico entre solos arenosos e solos argilosos, explicando, assim, a grande quantidade de areia na baixa vertente, levada pelos processos erosivos. Os fatores descritos somados à dinâmica natural do sistema pedológico contribuem para a instalação de processos erosivos laminares e em sulcos, os quais foram identificados na área de estudo.

## Referências

- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A. J. (Eds.) *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- BADE, M. R.; ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. Geotecnologias aplicadas à cartografia geomorfológica: o estudo de caso da bacia do Paraná IIBR/PY. In: II SEMINÁRIO INTERNACIONAL DOS ESPAÇOS DE FRONTEIRA, 2013, Posadas-Argentina, Anais do II Geofronteiras, 2013.
- BEUTLER, A. N. et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. In: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 03, p.829-834, 2002.
- BEUTLER, A. N. et al. Efeito da Compactação na Produtividade de cultivares de Soja em Latossolo Vermelho. In: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 05, 2006, p. 787 – 794.
- BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie: I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: lês études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance dès sols. *Cahiers ORSTOM*, v. 14, n. 4, 1982.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 21, 1988, Campinas. A responsabilidade social da ciência do solo. Anais Campinas: SBCS, 1988. p. 79-90.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. *Reconhecimento e Medida da Compactação do solo*. InfoBibos, 2006. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/C6/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm). Acesso em: 03 jul. 2024.
- CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T.; CASTRO, S. S. 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. 05, 2008, p. 1837-184.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- EMBRAPA – (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.
- EMBRAPA. *Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos*. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.
- LEMO, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta do solo no campo*. 5. ed. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2003.

- KÖEPPEN, W. *Climatologia*. Com um Estúdio de los Climas de la Tierra. México: FCE, 1936.
- MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial UFPR, 2002.
- MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 11, 2004, p. 1127-1132.
- MAGALHÃES, R. A. *Gênese e Evolução de Sistemas Pedológicos em Unidade de Paisagem do Município de Marechal Cândido Rondon*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá, Ciências Humanas, Letras e Artes, Maringá, 2013.
- MARCATTO, F. S. *O Efeito do Uso e Manejo nas Propriedades Físicas e Hídricas dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó – PR*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Ciências Humanas, Letras e Artes, Maringá, 2016.
- MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Efeitos do uso e manejo e dinâmica físico-hídrica de um sistema pedológico derivado de arenitos, no Paraná-Brasil. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, v. 32, n. 01, 2023, p. 140-157.
- PANACHUKI, E. et al. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 02, p. 261-268, 2006.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 05, 2011, p. 1777-1785.
- PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. *Guia de interpretação de análise de solo e foliar*. Vitória (ES): Incaper, 2013.
- RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. In: *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.
- RUELLAN, A.; DOSSO, M. *Regards sur le sol*. Les Éditions Foucher. Paris: Foucher, 1993. 192 p.
- RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, v. 21, 1988, Campinas. A responsabilidade social da ciência do solo. Anais Campinas: SBCS, 1988. p.405-415.
- PAVAN, M. A. et al. *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. Londrina, IAPAR, 1992, p. 40.
- SANTOS, R. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 53 ed. revista e ampliada Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- SILVA, B. A.; HAYAKAWA, E. H.; MARTINS, V. M. Relação Solo-Relevo no Oeste do Paraná, Estudo de Caso: Folha Topográfica de Marechal Cândido Rondon, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. São Paulo 2020, v.21, n.1, p.45-62.
- SOUSA, P.P.; AMORIM, R.F. Caracterização Morfopedológica Do município de Bom Jesus RN – Brasil. *Rede - Revista Eletrônica do PRODEMA*, Fortaleza, Brasil, v. 14, n. 1, 2020, p. 87- 102.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília: Embrapa Solos, 2017.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. Tópicos em Ciência do Solo. In: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG: v. 4, p. 145-192, 2005.