

Transformações pedológicas no platô de Marechal Cândido Rondon (PR)

Transformation pedological in the Marechal Cândido Rondon (PR) plateau

Vanderlei Leopold Magalhães^{1(*)}

Maria Teresa de Nóbrega²

José Edézio da Cunha³

Resumo

Com o objetivo de fornecer dados que ajudem na discussão sobre as transformações pedológicas predominantes no platô de Marechal, foi estudada, sob a ótica da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, uma topossequência de solos na cidade de Marechal Cândido Rondon (PR). Para o conhecimento prévio da cobertura pedológica, foram abertas duas trincheiras na vertente e efetuada a descrição macromorfológica e coleta de amostras de solo para a obtenção dos dados físicos, químicos, micromorfológicos e hídricos dos horizontes. Detectou-se que a topossequência do platô de Marechal encontra-se recoberta por uma cobertura latossólica no topo plano e transiciona para uma cobertura nitossólica-latossólica na média e média-baixa vertente, evidenciando um sistema pedológico com características distintas em seus horizontes diagnósticos, em termos de organização do espaço poroso e do comportamento da condutividade hidráulica.

Palavras-chave: topossequência de solos; condutividade hidráulica; cobertura pedológica.

Abstract

With the goal of providing data that contribute to the discussion about pedological transformation predominant in the Marechal plateau, a toposequence of soils from the

1 MSc.; Geografia; Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, UEM; Professor do *campus* de Medianeira, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR; Endereço: Avenida Brasil, 4232, Parque Independência, CEP: 85884-000, Caixa-postal: 271, Medianeira, Paraná, Brasil; E-mail: vlmagalhaes@utfpr.edu.br (*) Autor para correspondência.

2 Dra.; Geografia; Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, UEM; Endereço: Av. Colombo, 5.790, Jd. Universitário, CEP 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: mtnobrega@uol.com.br

3 Dr.; Geografia; Diretor do Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras, do *campus* de Marechal Cândido Rondon, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE; Endereço: Rua Pernambuco, 1777, Centro, CEP: 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil; E-mail: edeziocunha@hotmail.com

city of Marechal Cândido Rondon (PR) was studied through Pedological Structural Coverage Analysis. For the previous knowledge of soil coverage, two trenches were opened on the hillside. A macromorphological description and a gathering of soil samples were carried out for the obtention of physical, chemical, micromorphological and hydric data from the horizons. It was detected that the toposequence of the Marechal Plateau is covered by latosol on the top of the plane, with a transition for nitosol-latosol on the medium and medium-low hillside, showing a soil system with distinct characteristics in its diagnostic horizons, regarding the organization of the porous space and the behavior of hydraulic conductivity.

Key words: soil toposequence; hydraulic conductivity; soil coverage.

Introdução

O conhecimento integrado do meio físico, em particular dos solos, tanto das suas características como do seu funcionamento, tem sido indicado por muitos pesquisadores como fundamental para os estudos que buscam a compreensão da paisagem.

É por isso que o geógrafo, ao estudar uma determinada paisagem, procura estabelecer possíveis relações entre os seus elementos naturais e antrópicos, sempre com o intuito de contribuir com os conhecimentos dos processos que envolvem a sua formação, tanto em termos de gênese como de evolução espacial.

O relevo tem sido evocado por muitos autores como elemento significativo na delimitação das unidades de paisagem. Além de ser um dos elementos de fácil percepção visual, ele é um dos responsáveis pela estruturação da paisagem em virtude do seu papel na distribuição e organização de outros elementos.

É por essa razão que, nesta pesquisa, tem-se como ponto de partida a caracterização das formas do relevo, pois são elas que possibilitam dimensionar as unidades elementares (vertentes) para fins analíticos. Essas formas possibilitam o entendimento, por exemplo, de processos de pedogênese e morfogênese, considerados significativos para a compreensão da sua morfodinâmica,

nos estudos com a aplicação da metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica (BOULET et al., 1982a, b, c).

Diante do exposto, este estudo tem o objetivo de entender as transformações pedológicas de uma topossequência de solos, de uma vertente do compartimento geomorfológico do platô, localizada na cidade de Marechal Cândido Rondon (PR).

Visando discutir essa problemática, ressalta-se as contribuições de Bigarella et al. (1965), o qual destaca que a análise da morfologia das vertentes consiste em um importante instrumento de reconhecimento da sequência de eventos operantes no desenvolvimento da paisagem, pois é através dos estudos das diversas formas e de seus depósitos correspondentes que se pode concluir quais as condições ambientais que prevalecem durante esta análise e, ainda, sobre os processos atuantes no desenvolvimento da paisagem.

Nas vertentes, a transferência de água, sedimentos e elementos químicos ocorrem por meio de vários fluxos que variam no tempo e no espaço, ao longo do sistema vertente, superficial e subsuperficialmente, podendo resultar em diferenciações e descontinuidades de processos, tanto em termos de formas das vertentes como de classes de solos dispostos em cada segmento topográfico.

Para entender a dinâmica da água nos solos, faz-se necessário conhecer algumas das

suas características macromorfológicas, como a sua textura e estrutura, responsáveis pela organização do sistema poroso.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a porosidade deve ser compreendida como a proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço ocupado pela massa de solo. O que se conclui é que o tamanho e a disposição dos espaços porosos têm influência direta na velocidade da infiltração da água nos solos e que esse movimento da água é realizado pelas forças de gravidade e capilaridade. A força de gravidade promove o movimento da água nos grandes poros em solos saturados, enquanto a força de capilaridade ocorre nos solos não saturados (REICHARDT, 1990).

Assim, o tamanho e arranjo natural do espaço poroso dependem do tamanho e organização das partículas sólidas (argila, silte e areia) que formam a sua estrutura. Entre as partículas maiores de diferentes diâmetros, como é o caso da fração areia (porosidade textural) ou entre os agregados (porosidade estrutural), predominam poros grandes, denominados macroporos e, entre as partículas menores, como é o caso das frações argila e silte, predominam poros pequenos, denominados microporos.

Conforme Reichardt (1990), a porosidade total dos solos está relacionada de maneira inversa a densidade do solo, ou seja, à medida que essa densidade aumenta, a porosidade total diminui. Segundo Kiehl (1979), o aumento da densidade do solo, em profundidade, tende a aumentar, porque pressões exercidas pelas camadas superiores provocam a compactação do solo, reduzindo a sua porosidade total. Kiehl (1979) acrescenta que um solo em condições ideais para o desenvolvimento vegetal deve apresentar 1/3

da porosidade total formada por macroporos e os 2/3 restantes por microporos.

Para Karmann (2008), a capacidade dos materiais de conduzirem água é chamada de permeabilidade e depende do tamanho dos poros e da conexão entre eles. O autor também argumenta que existe uma relação entre a diminuição da permeabilidade em detrimento ao aumento da porosidade e diminuição do tamanho da partícula. Tem-se como exemplo que, no solo composto por frações mais finas (silte e argila), a porosidade total pode ficar entre 50 e 60%, porém a permeabilidade se mantém baixa a muito baixa.

De acordo com Reichardt (1990), a condutividade hidráulica (K) ocupa papel de destaque, pois reflete a capacidade do solo em conduzir água. Quanto maior for o valor de K, maior tende a ser a facilidade com que a água se movimenta no solo e o valor máximo de K ocorre quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica do solo saturado (K_0).

O autor acrescenta que a condutividade hidráulica pode ser definida como o volume de água que atravessa por unidade de tempo uma determinada área do solo impulsionada por uma diferença de potencial. Isso permite concluir que a condutividade é um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido, a água, é transportada através do meio poroso, o solo, e que depende tanto das propriedades do solo como das propriedades da água. Dentre as propriedades do solo, pode-se destacar a distribuição de tamanho e forma de suas partículas, a superfície específica, a porosidade, ou seja, todas as propriedades que têm reflexo na geometria porosa do solo.

Dessa maneira, o conhecimento do arranjo do sistema pedológico na vertente e da condutividade hidráulica do solo

saturado é de fundamental importância para a determinação do fluxo de água nos solos e, do ponto de vista prático, para a elaboração de projetos de irrigação e drenagem, bem como para a quantificação da erosão e lixiviação de substâncias químicas.

Material e Métodos

O município de Marechal Cândido Rondon, com área de 748 km², localiza-se no Terceiro Planalto Paranaense, eixo central da bacia sedimentar do Paraná, assentado sobre setores de três subunidades morfoesculturais: Planalto de Cascavel, Planalto de São Francisco e Planalto de Foz do Iguaçu (MINEROPAR, 2006), mais precisamente no extremo Oeste do estado do Paraná, entre os paralelos de 24°26' e 24°46' latitude Sul e 53°57' e 54°20' longitude Oeste (Figura 1).

A subunidade morfoescultural, Planalto de Cascavel, estende-se pelo setor Nordeste do município, onde se encontra o sítio urbano de Marechal Cândido Rondon. Constitui-se no prolongamento do grande divisor onde está instalada a cidade de Cascavel. Domina nesse planalto um relevo de dissecação média, caracterizado por colinas com topos alongados e aplainados, vertentes convexas, com declividades em geral menores que 12%, e vales em “V”. A unidade de paisagem platô de Marechal Cândido Rondon definida por Moresco (2007) está inserida nessa subunidade (Figura 2).

O Planalto de Cascavel termina dando lugar a uma zona de borda entalhada pelos tributários diretos do rio Paraná e do rio São Francisco, que modelam vertentes com declividades mais variadas e acentuadas apresentando, muitas vezes,

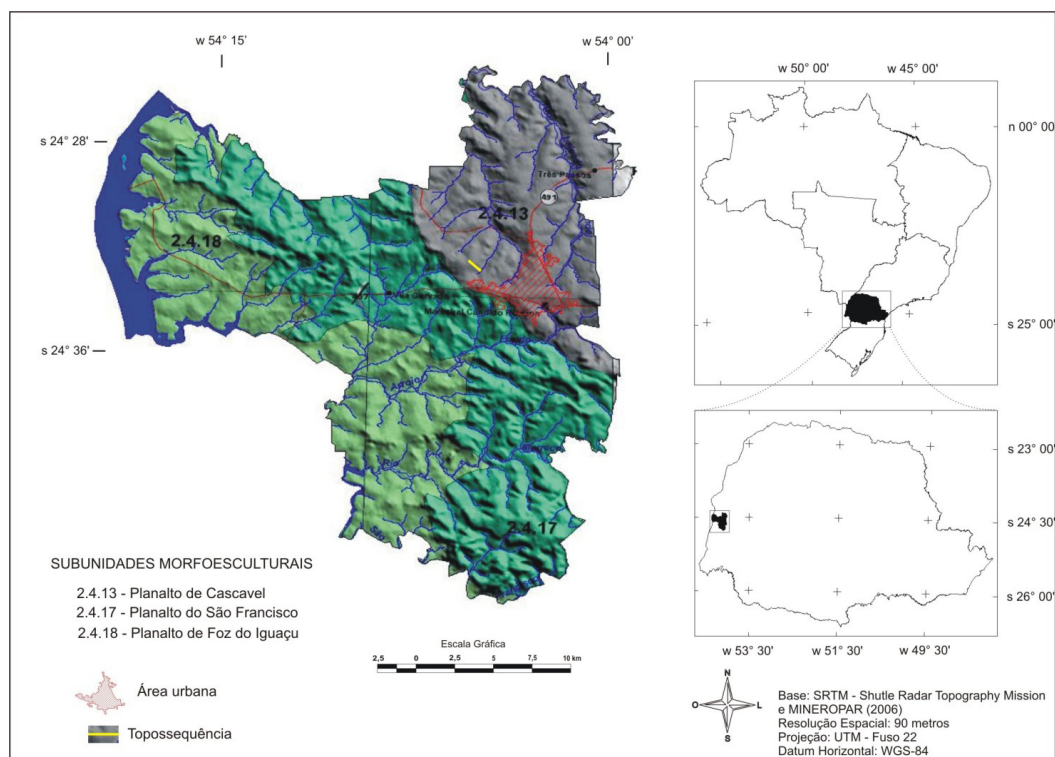


Figura 1. Localização do município de Marechal Cândido Rondon e os respectivos planaltos

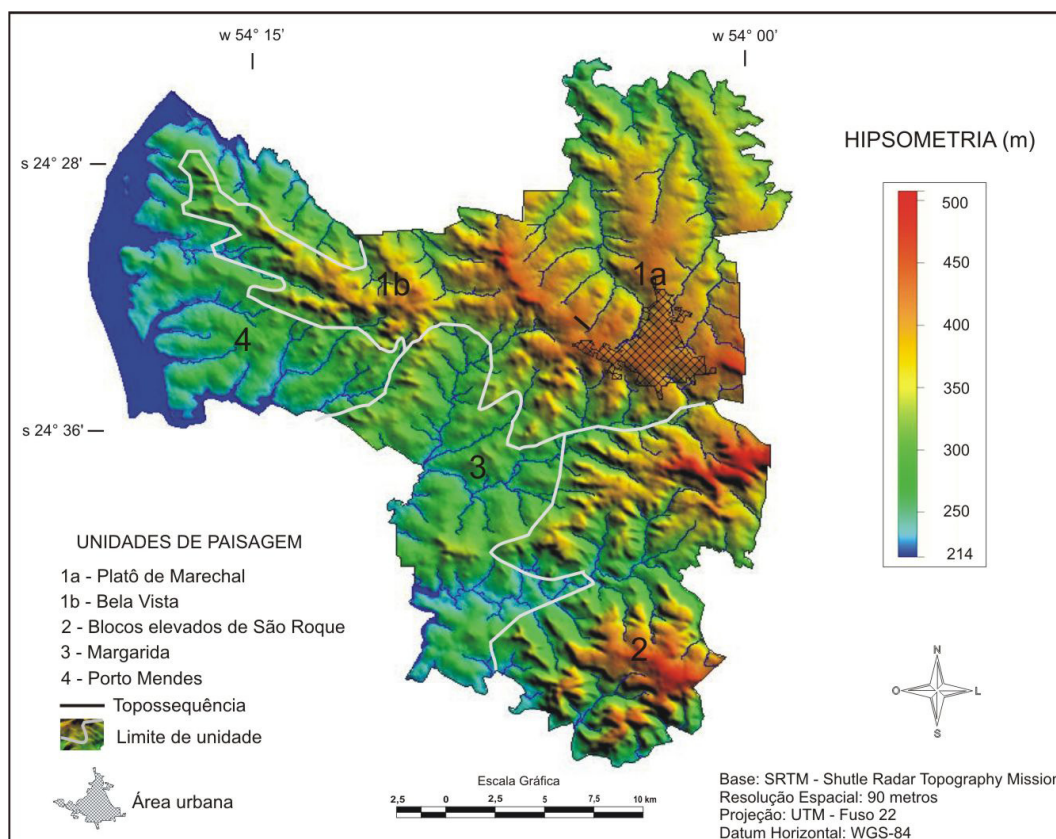


Figura 2. Unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon. Adaptado de Moresco (2007).

segmentos escarpados junto ao topo e vales mais profundos. Essa zona de borda entalhada corresponde à face oeste do grande interflúvio, identificada como a subunidade morfoescultural Planalto do São Francisco. De acordo com a Carta Geomorfológica (MINEROPAR, 2006), o setor Noroeste e Sudeste do município estão localizados sobre essa subunidade.

Em uma situação topograficamente mais baixa em relação às outras duas subunidades, aparece um setor do Planalto de Foz do Iguaçu, que envolve o Planalto de São Francisco e se estende até as margens do Lago de Itaipu. Corresponde, portanto a

uma faixa ao longo do limite oeste e sudoeste do município. Essa subunidade apresenta dissecação baixa e a classe de declividade predominante é menor que 6%. As formas de relevo predominantes são colinas amplas e médias com topos aplainados, vertentes convexas e vales em “V” aberto. As unidades de paisagem de Margarida e de Porto Mendes estão localizadas nessa subunidade morfoescultural. Entretanto, cabe ressaltar que, na escala local (do município), aparecem diferenças significativas entre essas duas unidades de paisagem: Margarida situa-se em uma posição topográfica mais elevada e é morfologicamente caracterizada por colinas

médias, apresentando eventualmente topos mais estreitos; Porto Mendes se caracteriza pelas colinas amplas e topograficamente mais baixas.

Assim, como reflexo dessa organização regional, o relevo do município de Marechal Cândido Rondon, em sua maior extensão, apresenta-se como ondulado, embora ocorram escarpas nas encostas mais elevadas, como é o caso dos Distritos de Bela Vista, Novo Horizonte, Novo Três Passos e São Roque. Já as formas de relevo, denominadas planas e suavemente onduladas, são encontradas na área da cidade de Marechal Cândido Rondon e nos Distritos de Margarida, Iguaporã, Bom Jardim e Porto Mendes.

O reconhecimento dessas unidades de paisagem e a sua posição em relação aos compartimentos geomorfológicos em escala regional é necessário para o entendimento das formas de vertentes e das suas relações com a gênese e evolução das suas coberturas pedológicas.

O compartimento do platô de Marechal, onde foi realizada esta pesquisa, está localizado no setor Nordeste do município, entre as cotas altimétricas de 360 a 460 metros (Figura 2). Os esporões mais elevados mantêm o eixo SE-NO e N-S. É caracterizado por vertentes convexo-retilíneas e vales estreitos na forma de “V”, com rupturas de declives na passagem do topo para a alta vertente e acentuada declividade (8 a 20%) no terço inferior. Saindo do platô em direção aos compartimentos de Porto Mendes e Margarida, as formas das vertentes variam em extensão e em declividade.

É nessa unidade de paisagem de maior densidade demográfica que está a sede do município, os distritos de Novo Três Passos e Novo Horizonte e, ainda, a vila de Bela Vista que aparece como uma subunidade (Figura

2). A malha urbana da cidade de Marechal Cândido Rondon está situada sob um topo plano de altitudes que variam de 414 a 430 metros. Nas cotas mais baixas, estão as áreas destinadas a culturas temporárias, que servem de limite entre a área urbana e rural.

Essas formas de relevo são esculpidas pelas sangas Andorinha, Borboleta, Araponga, Sucurá e Matilde Cuê (sul do sítio urbano), pelo córrego Guará (nordeste do sítio urbano), pelo lageado Bonito (noroeste do sítio urbano) e pelo principal curso d'água que margeia a cidade, o córrego Guavirá.

Para atingir os objetivos desta pesquisa, no compartimento do platô de Marechal, foram desenvolvidos trabalhos de campo para a escolha do eixo topográfico da vertente onde foi realizado o estudo da topossequência (Figuras 1 e 2), para evidenciar a organização da cobertura pedológica com as suas variações verticais e laterais. No levantamento topográfico, foi utilizado o clinômetro de bolso, o metro e a trena, como preveem Boulet et al. (1982a).

Para o levantamento pedológico, ao longo da topossequência, foram efetuadas coletas de amostras (a cada 10 cm de profundidade) com o uso do trado holandês, organizadas em pedocomparadores. Nessas amostras, foram realizadas a descrição das características de cor, textura e consistência, conforme sugestões de Lemos e Santos (2005). Com esse conhecimento prévio da distribuição vertical e lateral dos solos ao longo da vertente foram abertas duas trincheiras, uma no setor de topo e uma na baixa vertente para a descrição macromorfológica e coleta de solos nos horizontes diagnósticos para a realização de análises físicas, químicas e micromorfológicas, bem como ensaios da condutividade hidráulica e da macro e microporosidade.

Para a separação das frações granulométricas de solo e da argila dispersa, foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997). A determinação da densidade aparente do solo, quantificação da porosidade (macro e micro) e condutividade hidráulica seguiram o proposto pela Embrapa (1997), utilizando a média das três amostras de solo coletadas em anéis volumétricos - de aço inox de 147 cm³ - nos horizontes diagnósticos. Essas amostras umedecidas e pesadas foram levadas a mesa de tensão com coluna de água de 100 cm por 12 horas. Nessa primeira etapa, foi definida a macroporosidade e, após 24 horas do material na estufa, definiu-se a microporosidade. Esse mesmo princípio foi seguido para a densidade aparente do solo, pesando o cilindro com solo ainda úmido, logo após a sua retirada da mesa de tensão e, após passar pela estufa, efetuando uma nova pesagem para a obtenção do peso seco e cálculo de densidade.

No ensaio da condutividade hidráulica, realizado em laboratório com o uso do permeâmetro de carga constante, as três amostras de cada horizonte foram saturadas em água, por capilaridade, por um período de 12 horas. No equipamento, por gotejamento, a coluna de 2 cm de água foi mantida constante e a água que passou pelo volume de solo foi medida a cada hora, em um total de oito leituras. Para o cálculo da condutividade hidráulica se utilizou da média das três últimas leituras e, para interpretação desses resultados, adotaram-se as seguintes classes em mm h⁻¹: muito lenta (< 1); lenta (1-5), moderadamente lenta (5-20), moderada (20-60), moderadamente rápida (60-125), rápida (125-250) e muito rápida (250 >).

As análises químicas de rotina seguiram as técnicas do IAPAR (PAVAN, 1992). O fósforo foi determinado por

espectrofotometria ($\lambda = 360$ nm), e o potássio por fotômetro de chama. A determinação da acidez trocável (Al) foi obtida em KCl, e a acidez potencial (H + Al) com solução tampão SMP adicionada na amostra utilizada no pH em CaCl₂, efetuando nova leitura do pH com o potenciômetro. As determinações de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), utilizando as soluções padrões de Ca²⁺ e Mg²⁺ que contém La e KCl nas mesmas concentrações do extrato. E o carbono orgânico com o método Walkley-Black, com oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio K₂Cr₂O₇ 1N em meio ácido. O pH do solo foi determinado em solução CaCl₂ e H₂O, sob potenciômetro calibrado com as soluções tampão pH 7,0 e 4,0.

O estudo da dinâmica hídrica foi complementado com observações ao microscópio óptico sobre a porosidade dos solos, com o emprego de lâminas delgadas, obtidas a partir de amostras indeformadas, representativas de cada horizonte, e impregnadas com resina acrílica.

Resultados e Discussão

A topossequência do platô de Marechal está localizada numa das cabeceiras de drenagem dos canais que confluem com o principal curso d'água do sítio urbano, o córrego Guavirá. Essa topossequência apresenta 740 metros de extensão e 45 metros de desnível topográfico, com predomínio da forma convexa (Figura 3). Em toda a sua extensão é ocupada por culturas temporárias com sistema de plantio direto a mais de 20 anos.

A cobertura pedológica é texturalmente muito argilosa ao longo de toda a topossequência, exibindo, entretanto, variações de estrutura, grau de compactação e,

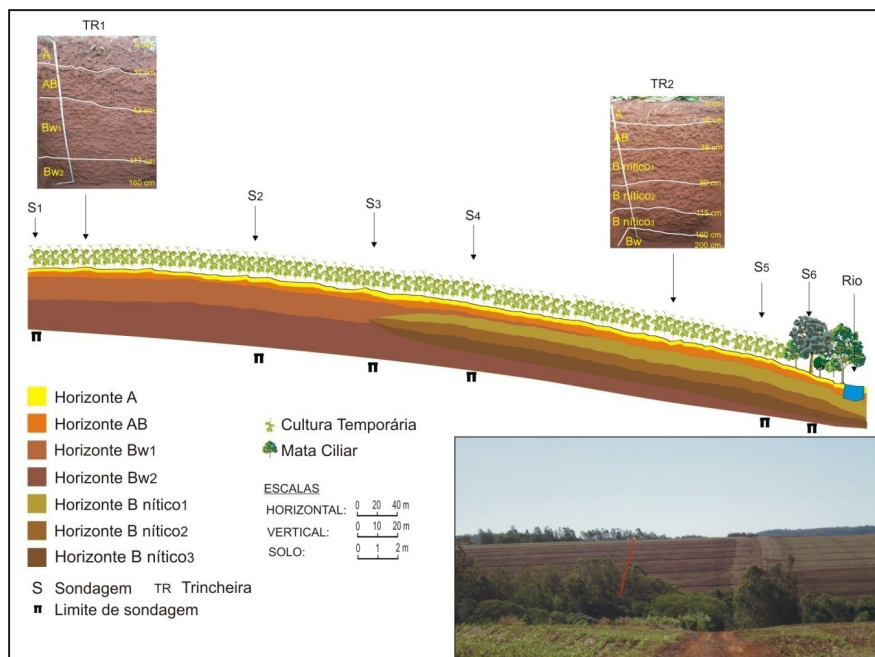


Figura 3. Topossequência de solos do platô de Marechal

em alguns casos, de cor. Com base na variação dessas características morfológicas foram identificados e delimitados os diferentes volumes que compõem a cobertura pedológica. Como mostra a figura 3, a topossequência apresenta dois conjuntos distintos de volumes (horizontes). O primeiro, com 330 metros de extensão e que se estende do topo até a média vertente (sondagens 1 a 3 e trincheira 1), é constituído por quatro volumes. O segundo, de 410 metros de extensão, que se estende da média vertente até o fundo do vale (sondagens 3 a 6 e trincheira 2), é constituído por seis volumes.

O conjunto de montante está organizado pela sequência vertical de horizontes A, AB, Bw1 e Bw2. Em sua extensão, o horizonte A tem, em média, 17 cm de espessura. Esse material é predominantemente de cor bruno-avermelhado-escuro (2.5YR 3/4) e textura muito argilosa, conforme evidenciado pelos dados granulométricos (Tabela 1). Sua consistência é plástica e pegajosa e sua

estrutura é constituída de grânulos pequenos de até 1 cm de diâmetro, de fraca resistência quando pressionados entre os dedos, com predomínio de poros pequenos (> 1 mm). Já o horizonte AB de 26 cm de espessura, embora apresente as mesmas características de textura, consistência e porosidade têm diferenças na sua estrutura. Passa a ter forma de blocos subangulares de forte resistência e com até 5 cm de diâmetro. Quando pressionados entre os dedos, esses blocos apresentam formas mais arredondadas e de menor diâmetro (até 3 cm). Essa maior resistência do material pode ser explicada pela evidente compactação verificada no campo.

O horizonte subsuperficial de 117 cm de espessura, que corresponde a um Bw, foi subdividido em Bw1 e Bw2. O Bw1 de 74 cm de espessura tem cor vermelho-escuro-acinzentada (10R 3/4) e textura argilosa. Sua consistência plástica e pouco pegajosa apresenta muitos poros, porém muito pequenos. Sua estrutura é caracterizada por

Tabela 1. Características físicas e hídricas dos perfis de solo da topossequência do platô de Marechal

| Trincheira Horizonte | Prof. Hor. (cm) | Granulometria (%) | | | AN (%) | GF (%) | GD (%) | DS g cm ⁻³ | Macro- poros (%) | Micro- poros (%) | Poros. Total (%) | CH mm h ⁻¹ |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | | Argila | Silte | Areia | | | | | | | | |
| 1- A | 00-17 | 73,08 | 16,38 | 10,54 | 49,72 | 32 | 68 | 1,12 | 16,39 | 42,69 | 59,08 | 49,37 |
| 1- AB | 17-43 | 83,08 | 9,54 | 7,38 | 43,08 | 48 | 52 | 1,27 | 7,21 | 46,20 | 53,41 | 0,93 |
| 1- Bw1 | 43-117 | 76,40 | 16,90 | 6,7 | 14,74 | 81 | 19 | 1,06 | 13,37 | 40,43 | 53,80 | 3,72 |
| 1- Bw2 | 117-160+ | 79,72 | 13,38 | 6,9 | 14,74 | 82 | 18 | 1,09 | 11,94 | 43,34 | 55,28 | 3,39 |
| 2- A | 00-10 | 79,36 | 8,62 | 12,02 | 51,38 | 35 | 65 | 1,10 | 13,89 | 41,73 | 55,62 | 45,15 |
| 2- AB | 10-38 | 81,02 | 7,14 | 11,84 | 3,08 | 96 | 4 | 1,37 | 4,76 | 42,79 | 47,55 | 0,15 |
| 2- B nítico1 | 38-80 | 82,72 | 8,60 | 8,68 | 18,08 | 78 | 22 | 1,14 | 9,80 | 43,10 | 52,89 | 0,32 |
| 2- B nítico2 | 80-115 | 86,04 | 5,54 | 8,42 | 13,08 | 85 | 15 | 1,06 | 16,02 | 39,74 | 55,76 | 4,4 |
| 2- B nítico3 | 115-160 | 86,40 | 5,16 | 8,44 | 3,08 | 96 | 4 | 1,08 | 11,87 | 44,98 | 56,85 | 2,04 |
| 2- Bw | 160-200+ | 86,40 | 5,72 | 7,88 | 19,36 | 78 | 22 | 0,98 | 17,31 | 42,83 | 60,14 | 36,03 |

Nota: AN: Argila Natural, GF: Grau de Flocculação, GD: Grau de Dispersão, DS: Densidade do Solo, CH: Condutividade Hidráulica.

blocos subangulares de moderada resistência, de até 3 cm de diâmetro. Esse material, quando quebrado, desfaz-se em blocos menores de fraca resistência, indicando boa condição de friabilidade. O horizonte Bw2 tem como principal diferença a organização estrutural do material. Embora mantenha a sua forma de blocos, estes são menores e de menor resistência, chegando à condição de granular e friável. Essa sequência de horizontes e as suas características morfológicas permitem classificar esse conjunto como um LATOSSOLO VERMELHO e, ainda, considerando que a sua rocha de origem é o basalto e que gera solos com alto teor em óxidos de ferro (> 18%), distingui-lo com o atributo férrico, como foi realizado por Bhering et al. (2007), quando da atualização do Mapa de Solos do Estado do Paraná.

Os horizontes A, AB e a parte do Bw se estendem ao longo de toda a topossequência, entretanto, a partir da média vertente até o fundo do vale aparece no interior do Bw, volumes com características de B nítico.

Esses volumes aparecem inicialmente em forma de cunha no meio do Bw (entre o Bw1 e o Bw2) e espessam em direção ao sopé, desaparecendo por completo o horizonte Bw1 e sobrando apenas uma porção estreita do Bw, abaixo da nova sequência de horizontes. A transição lateral desse conjunto pedológico de montante para o de jusante ocorre gradualmente. A principal diferença está, portanto, na variação estrutural, que gera horizontes níticos com agregados subangulares mais resistentes, embutidos em um horizonte Bw, caracteristicamente granular e friável.

Desse modo, o conjunto de jusante é constituído pelos horizontes A, AB, B nítico e Bw (Figura 3). Em sua extensão, o horizonte A tem em média 10 cm de espessura e aqui se apresenta com cor bruno-avermelhada (2.5YR 4/3), mantendo, entretanto, todas as outras características observadas a montante. O horizonte subsuperficial AB também mantém as mesmas características verificadas no segmento superior da vertente, mas

ligeiramente mais espesso (28 cm) e com cor vermelho-escuro-azincantada (10R 3/3).

O horizonte subsuperficial (B nítico) de 122 cm de espessura foi subdividido em B nítico1, B nítico2 e B nítico3. O B nítico1 de 42 cm de espessura tem cor vermelho-escuro-azincantada (10R 3/4), textura argilosa e consistência plástica e pouco pegajosa, com poros muito pequenos. Sua estrutura é caracterizada por blocos subangulares de moderada a forte resistência, de até 5 cm de diâmetro. Esse material quando quebrado se desfaz em blocos menores de média resistência. Foi evidenciada, principalmente nas paredes desses blocos, a presença de forte cerosidade. No horizonte B nítico2, destaca-se como principal diferença a organização estrutural do material. Embora mantenha a sua forma de blocos, estes são menores (até 3 cm de diâmetro), de moderada a fraca resistência, com existência de moderada cerosidade. Enquanto no horizonte B nítico3, a principal diferença também está na estrutura, ou melhor, na sua resistência, que passa a ser ainda menor (com fraca cerosidade) se desfazendo em pequenos grânulos, indicando ser um material friável.

O Bw, verificado abaixo do B nítico, foi reduzido aqui a 40 cm de espessura. Esse tem cor vermelho-escuro (10R 3/6) e a estrutura caracterizada por blocos subangulares de fraca resistência de até 3 cm de diâmetro, que se desfaz facilmente em uma estrutura granular pequena, indicando boa condição de friabilidade, do mesmo modo que foi observado no setor de montante. Esse setor da topossequência é dominado, de acordo com as características morfológicas observadas, por um Nitossolo Vermelho com características férricas e latossólicas (presença de horizonte B nítico sobreposto ao horizonte Bw).

A composição granulométrica dos solos na topossequência, como evidenciado na tabela 1, é homogênea, com predominância da fração argila. Esses dados juntamente com valores de argila natural permitiram demonstrar o comportamento da argila em termos de dispersão e floculação.

Na topossequência, os teores de argila dispersa em água nos horizontes de solo variam de 4 a 68%. Do topo até o sopé da vertente, os valores mais elevados são encontrados nos horizontes superficiais A e B. Porém, esse comportamento não se reproduz a partir da média (sondagem 3) ao sopé da vertente, onde o volume B tem apenas 4% de dispersão (Tabela 1).

O horizonte subsuperficial de montante, Bw nas suas subdivisões, apresenta teores de dispersão em torno de 18%. Esse horizonte Bw, que se estende lateralmente, abaixo do B nítico, na média vertente tem um grau de dispersão minimamente mais elevado, com 22%. Esse mesmo valor, nessa posição da vertente, repete-se no horizonte B nítico1, que passa a diminuir seus valores verticalmente no perfil, atingindo 15% no B nítico2, e 4% no B nítico3.

O grau de floculação, assim como o grau de dispersão, apresentou uma amplitude de 64% nos horizontes diagnosticados. No setor de topo, o horizonte A e B apresentaram 32% e 48% de floculação, respectivamente. Enquanto na média vertente, esse horizonte A mantém valores próximos aos de montante, o volume AB se apresenta 96% floculado, evidenciando uma elevação de 50% lateralmente na vertente.

O horizonte subsuperficial Bw, no topo da vertente, mostrou que a argila está mais floculada do que em superfície, apresentando valores em torno de 81%, que diminuem lateralmente para 78%. Os volumes do B

nítico se apresentam mais floculados em profundidade, iniciando com 78% no B nítico1 e chegando a 96% no B nítico3.

Quanto às propriedades químicas desses solos (Tabela 2), os valores de pH H₂O são sempre superiores ao pH CaCl₂, mostrando que, no complexo absorvente, predominam reações do tipo catiônicas e não aniônicas. No segmento do topo, representado pelo LATOSSOLO VERMELHO com características férricas, os dados de pH em água mostraram-se constantes no perfil, apresentando nos volumes A, Bw1 e Bw2, reação predominantemente neutra (>6,6) e, somente no volume AB, uma acidez moderada (6,5), conforme classificação da Embrapa (2006).

No conjunto de jusante, representado pelo NITOSSOLO VERMELHO férrico latossólico, verifica-se que os dados de pH H₂O mais elevados (>6) estão presentes até os 80 cm de profundidade e decrescem verticalmente. Mesmo apresentando variação de valores, segundo o critério da Embrapa (2006), esses volumes de solo se enquadram

como moderadamente ácidos (5,4 a 6,5). Como exceção, tem-se um único valor, no volume B nítico (4,9) apresentando condições hidrogeniônicas fortemente ácidas.

A soma de bases (SB) juntamente com a acidez potencial (H + Al) indica que a capacidade de troca catiônica (CTC) é relativamente baixa nos volumes de solo dessa topossequência, variando entre 7,17 e 17,27 cmolc dm⁻³ atendendo aos critérios químicos definidos pela Embrapa (2006) para os LATOSSOLOS e NITOSSOLOS. Ao longo da vertente, esses valores são mais altos em superfície e gradativamente diminuem em profundidade, mantendo-se constantes lateralmente.

A matéria orgânica (MO), do segmento de topo até o sopé vertente, apresenta teores maiores em superfície diminuindo em profundidade. Lateralmente, a partir da média vertente em direção ao sopé, a redução mais significativa acontece no volume AB, que tem somente 8,89 g dm⁻³, bem abaixo dos 16,40 g dm⁻³ verificados a montante.

Tabela 2. Análises químicas de rotina dos perfis de solos da topossequência do platô de Marechal

| Amostra Trincheiras (TR) | | P | MO | pH | pH | H ⁺ Al | Al ³⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SB | CTC | V | Al |
|-----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------|------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Trincheira Horizonte | Horizonte (cm) | mg dm ⁻³ | g dm ⁻³ | CaCl ₂ | H ₂ O | | | | cmolc dm ⁻³ | | | | % | |
| 1- A | 00-17 | 37,28 | 37,59 | 5,99 | 6,64 | 3,65 | 0,00 | 1,09 | 8,91 | 3,62 | 13,62 | 17,27 | 78,87 | 0,00 |
| 1- AB | 17-43 | 4,20 | 16,40 | 5,38 | 6,49 | 4,56 | 0,00 | 0,28 | 5,19 | 1,65 | 7,12 | 11,68 | 60,96 | 0,00 |
| 1- Bw1 | 43-117 | 1,38 | 6,15 | 5,92 | 6,57 | 3,05 | 0,00 | 0,08 | 4,79 | 0,62 | 5,49 | 8,54 | 64,29 | 0,00 |
| 1- Bw2 | 117-160+ | 1,48 | 2,05 | 6,19 | 6,66 | 2,96 | 0,00 | 0,08 | 4,24 | 0,49 | 4,81 | 7,77 | 61,90 | 0,00 |
| 2- A | 00-10 | 22,30 | 33,05 | 5,17 | 6,45 | 4,2 | 0,00 | 1,02 | 8,32 | 3,02 | 12,36 | 16,56 | 76,23 | 0,00 |
| 2- AB | 10-38 | 2,51 | 8,89 | 4,91 | 6,02 | 6,10 | 0,05 | 0,17 | 4,87 | 1,85 | 1,85 | 7,95 | 23,27 | 2,63 |
| 2- B nítico1 | 38-80 | 2,77 | 10,25 | 5,81 | 6,43 | 3,57 | 0,00 | 0,13 | 3,99 | 0,62 | 4,74 | 8,31 | 57,04 | 0,00 |
| 2- B nítico2 | 80-115 | 1,79 | 1,37 | 4,89 | 5,46 | 5,18 | 0,30 | 0,10 | 3,09 | 0,58 | 3,77 | 8,95 | 42,12 | 7,37 |
| 2- B nítico3 | 115-160 | 1,59 | 2,05 | 4,37 | 4,88 | 6,48 | 0,65 | 0,10 | 1,42 | 0,86 | 2,38 | 8,86 | 26,86 | 21,45 |
| 2- Bw | 160-200+ | 1,87 | 2,05 | 4,35 | 5,63 | 6,57 | 0,55 | 0,12 | 0,95 | 1,15 | 2,22 | 8,79 | 25,26 | 19,86 |

Aparentemente, a relação entre a CTC e a MO mostra-se dependente uma da outra, no segmento de montante, onde os valores de CTC e MO são maiores na superfície (17,27 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 37,59 g dm^{-3} , respectivamente) e diminuem gradativamente em profundidade. No conjunto pedológico Nitossolo Vermelho fêrrico latossólico, os valores da CTC são mais elevados em superfície (16,56 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e em profundidade mantêm-se constantes, com valores em torno de 8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os valores de MO, na mesma profundidade, variam de 1,37 a 10,25 g dm^{-3} (Figura 4).

A saturação por bases (V%) (Tabela 2) apresenta valores com amplitude de até 56% nos volumes de solo que compõem a topossequência. Os valores mais elevados concentram-se no conjunto pedológico de montante, os quais variam entre 60,96% e 78,87%. Na transição para conjunto de jusante, esses valores são mais reduzidos, tendo boa parte do B nítico e do Bw, menos de 50% de saturação por bases.

Como a saturação por bases é um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis ($V\% > 50$) de solos de menor fertilidade ($V\% < 50$), conclui-se que esses solos são quimicamente mais férteis no setor de topo. De acordo com o terceiro nível categórico da classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 2006), esses solos enquadram-se como eutróficos no topo e distróficos do setor de média vertente ao sopé.

É no setor onde a V% é mais baixa, que o alumínio (Al) apresentou os valores mais elevados (Tabela 2), porém por estarem em profundidades maiores, não comprometem o solo com problemas de toxidez.

Dessa maneira, de acordo com as características químicas, a classificação aponta para solos eutróféricos e/ou distroféricos, indicando assim que a topossequência em estudo apresenta um sistema pedológico organizado no setor de topo por horizontes de solos que correspondem ao LATOSSOLO VERMELHO Eutróférico e que

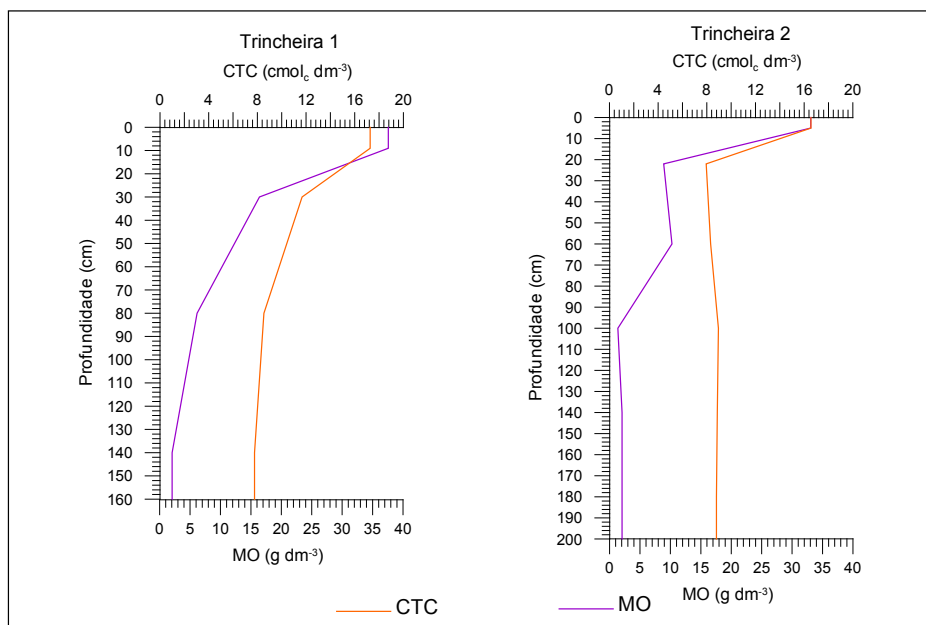


Figura 4. Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência do platô de Marechal

transiciona lateralmente para volumes de solos que correspondem ao NITOSSOLO VERMELHO Distróférrico Latossólico.

Em termos hídricos, o conjunto pedológico de montante, constituído pelo solo LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico, apresenta condutividade hidráulica (CH) moderada no horizonte A ($49,37 \text{ mm h}^{-1}$), muito lenta no horizonte AB ($0,93 \text{ mm h}^{-1}$) e lenta nos volumes do Bw, com valores de $3,72 \text{ mm h}^{-1}$ para o Bw1 e $3,39 \text{ mm h}^{-1}$ para o Bw2 (Figura 5).

No conjunto pedológico de jusante, constituído pelo NITOSSOLO VERMELHO Distróférrico latossólico, a condutividade hidráulica no horizonte A apresenta-se moderada ($45,15 \text{ mm h}^{-1}$) e, no horizonte AB, muito lenta ($0,15 \text{ mm h}^{-1}$). Nas subdivisões do B nítico, a condutividade hidráulica é classificada como muito lenta

($0,32 \text{ mm h}^{-1}$) no B nítico1 e lenta no B nítico2 ($4,40 \text{ mm h}^{-1}$) e no B nítico3 ($2,07 \text{ mm h}^{-1}$), enquanto o horizonte Bw apresenta condutividade hidráulica moderada ($36,03 \text{ mm h}^{-1}$), nesse setor da vertente.

A análise da condutividade hidráulica pode ser feita em paralelo com os dados apresentados na figura 4 e 5, onde se apresenta a distribuição da porosidade e a densidade do solo nos perfis de solo. Ao longo da topossequência os valores de condutividade apresentaram valores mais elevados em superfície, que correspondem ao horizonte A. Esse fato pode ser explicado pela estrutura desse horizonte e porosidade total, que atinge $59,08\%$ e $55,62\%$ na média vertente. A macroporosidade, nesse caso, corresponde a praticamente 16% no topo e 14% a jusante (Figura 5). Outro elemento que auxilia essa moderada condição hídrica

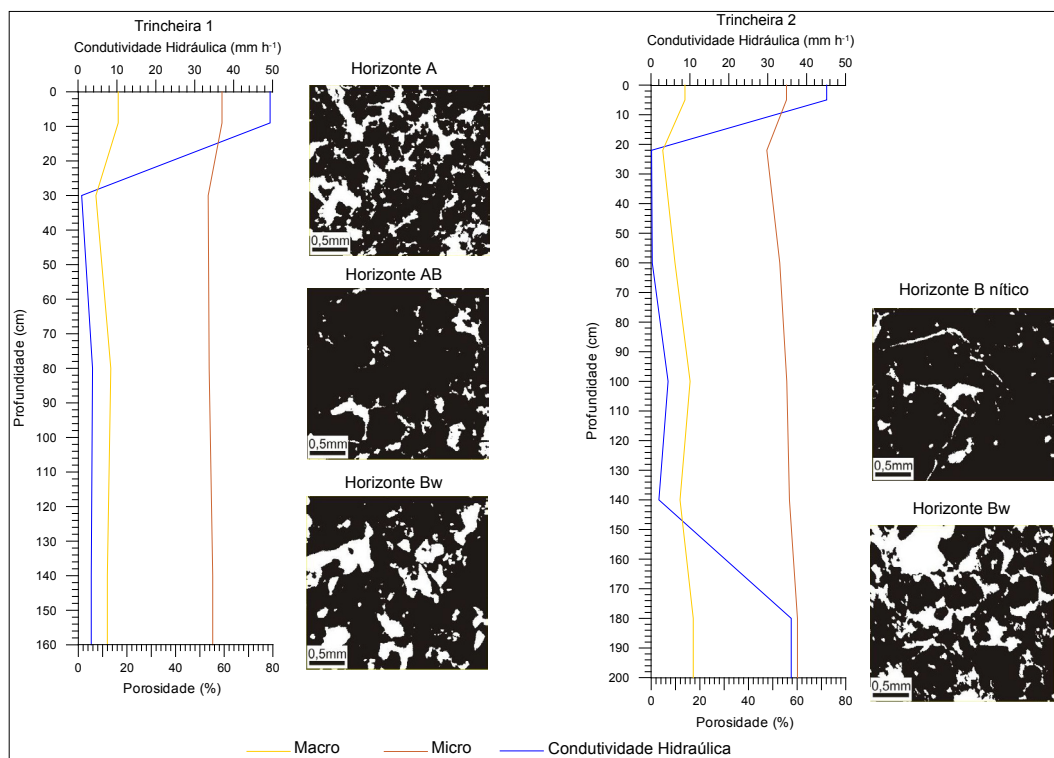


Figura 5. Comportamento da condutividade hidráulica e da macro e microporosidade, dos perfis de solo da topossequência do platô de Marechal. Nas imagens binárias os poróides aparecem em branco e a fase sólida em preto.

do horizonte é a baixa densidade do solo com valores em torno de $1,11 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 6) e a organização do espaço poroso.

Diferentemente dessa condição hídrica de superfície, o horizonte AB indicou uma queda brusca da condutividade hidráulica, demonstrando uma porosidade total mais elevada no conjunto do topo (53,41%) e 47,55% no conjunto de jusante. Porém, há uma redução da macroporosidade (próximos de 7%) e um aumento da densidade do solo para 1,27 e $1,37 \text{ g cm}^{-3}$ do topo para jusante confirmando a compactação verificada nos trabalhos de campo, exemplificada na figura 6.

Corroborando esta discussão o estudo de Tavares-Filho et al. (2006), ao explicar que a condutividade hidráulica, obtida com o infiltrômetro a 15 cm de profundidade num LATOSSOLO VERMELHO Distroférico no norte do Paraná, sob plantio direto após 20 anos, gerou uma média de $2,15 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (77 mm h^{-1}), ou seja, uma condutividade

hidráulica moderadamente rápida. Esse fato também foi confirmado por Rosa et al. (2007) em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico do Rio Grande do Sul, sob tempos diferenciados de implantação do sistema de semeadura direta.

Para Tavares-Filho et al. (2006) um método que pode ajudar na redução da compactação e, por conseguinte, aumentar a entrada e permanência da água em solos agrícolas é o processo da escarificação, pois foi constatado que a condutividade hidráulica do solo escarificado foi 1,67 vezes maior que a do solo sob plantio direto, indicando que, após a escarificação, ocorreu uma elevação de $1,45 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (52 mm h^{-1}) na condutividade hidráulica, em relação ao solo sob plantio direto há 20 anos. Os autores ainda ressaltam que esse aumento foi reduzido para $0,48 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (17 mm h^{-1}) apenas um ano após a realização da escarificação, demonstrando assim que, nesses casos, a reconsolidação do solo é rápida.

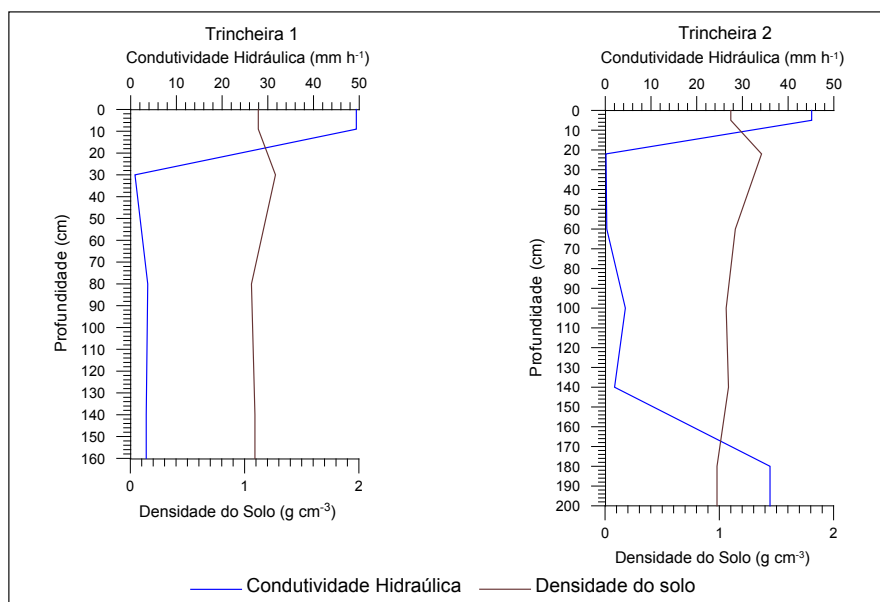


Figura 6. Comportamento da condutividade hidráulica e da densidade do solo dos perfis de solo da topossequência do platô de Marechal

Vieira e Klein (2007) também compartilham a ideia de que a prática da escarificação reduz a densidade do solo e a sua resistência mecânica à penetração das raízes aumentando a permeabilidade do solo. Os autores analisaram as características hídricas (K_o em laboratório com permeâmetro de carga constante) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em Passo Fundo (RS), conduzido sob plantio direto e submetido à descompactação por escarificação. Os resultados indicaram que a área com escarificação apresentou condutividade entre 397,84 e 31,00 mm h⁻¹ na camada de 30 cm de profundidade de solo, superiores aos do plantio direto, em que os valores ficaram entre 62,74 a 11,68 mm h⁻¹, demonstrando assim que a escarificação pode ser uma alternativa para a conservação do solo e da água, com efeitos que permaneceram por mais de um ano.

Tavares-Filho et al. (2006) concluem que o não revolvimento do solo juntamente com o tráfego de máquinas tem provocado o aumento da densidade dos solos em Latossolos e Nitossolos do norte do Paraná, chegando a atingir valores próximos a 1,50 g cm⁻³, mas que depois da escarificação pode diminuir significativamente, atingindo valores de 0,99 g cm⁻³.

No horizonte subsuperficial Bw, de montante, a condutividade hidráulica apresenta-se um pouco mais elevada do que o horizonte AB e, neste caso, tem porcentagens de macroporos entre 12% e densidade do solo em média de 1,06 g cm⁻³ (Figuras 5 e 6).

No horizonte subsuperficial B nítico, em suas subdivisões, conforme aumenta a macroporosidade (entre 9,80 e 16,02%), elevam-se, também, os valores da condutividade hidráulica. Porém, o aumento dos macroporos poderia indicar uma maior circulação da água, quando comparada com os volumes de

solo de montante (Bw), mas aparentemente é a organização e distribuição desses poros que condicionam essa muito lenta e lenta condutividade hidráulica (Figura 5). Nessa organização do B nítico nota-se que a variação da densidade do solo é mínima, com valores entre 1,06 e 1,14 g cm⁻³ (Figura 6).

O horizonte Bw, abaixo do B nítico, apresentou condutividade hidráulica muito superior ao Bw de montante, com 36,03 mm h⁻¹. Embora a macroporosidade seja a mais elevada (17,31%), entre os volumes de solo analisados, e apresente densidade do solo baixa (0,98 g cm⁻³), é o arranjo do espaço poroso que garante aos poros intermicroagregados uma maior interconectividade, verificado na micromorfologia, que contribui para esse aumento da condutividade hidráulica (Figura 5).

A partir desses dados, indica-se que a topossequência do platô de Marechal encontra-se recoberta por uma cobertura latossólica no topo plano e transiciona para uma cobertura nitossólica-latossólica na média e média-baixa vertente, evidenciando um sistema pedológico com características distintas em seus horizontes diagnósticos, em termos de organização do espaço poroso e do comportamento da condutividade hidráulica.

Considerações Finais

Os dados obtidos, nesta pesquisa, possibilitaram as seguintes considerações:

- O sistema pedológico, constituído por LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e NITOSSOLO VERMELHO Distroférico latossólico, encontra-se em desequilíbrio com as condições atuais da paisagem, sobretudo no que se refere à relação da distribuição dos solos com as formas de relevo da topossequência.

- A camada compactada do horizonte AB, presente ao longo da topossequência, provoca alterações na organização do espaço poroso, deixando-os menos comunicantes e, por conseguinte, diminuindo os valores de condutividade hidráulica.
- Os horizontes classificados como Bw, com blocos subangulares de fraca e moderada resistência, apresentaram um maior desenvolvimento dos poros estruturais (macroporos), verificados principalmente no setor de média vertente, onde favorecem os processos de condução de água - maior condutividade hidráulica, em detrimento aos horizontes caracterizados como B nítico que apresentaram blocos subangulares de moderada a forte resistência e um comportamento hídrico menor.
- O caminho preferencial da água, ao longo da topossequência, é o de superfície, o que pode estar provocando o processo de erosão laminar.
- Sugere-se a escarificação desses solos para melhorar as suas condições de aeração (abertura e conexão entre os poros), consideradas importantes para a boa circulação da água e do ar e, por consequência, para o bom desenvolvimento das plantas.

Referências

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5 ed. São Paulo: Icone, 2005. 355p.

BHERING, S. B. et al. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/index.html>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, v.16 n.17, 1965, p.85-116.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. **Analyse structurale et cartographie en pedologie. I** – Prise en compte l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les étude de toposéquences et leurs principaux apport à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n.4, 1982a. p. 309-322.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. **Analyse structurale et cartographie en pedologie. II** – Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des ouvertures pédologiques. Cah. ORSTOM. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n.4, 1982b. p. 323-340.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. **Analyse structurale et cartographie en pedologie. III** – Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n.4, 1982c. p.341-352.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção e Informação, 2006. 397p.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. p. 113-138.

KIEHL, J. E. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1979. 262 p.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 5 ed. SBCS. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2005. 100p.

MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Escala base 1:250.000. MINEROPAR: Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

MORESCO, M. D. **Estudo de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon-PR**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-DGE/PGE/UEM, Maringá, 2007.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. D. M.; ZEMPULSK, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Monole Ltda. 1990. 188p.

ROSA, V. T.; ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; KOCHHANN, R. A.; REINERT, D. J. Tempo de implantação do sistema de semeadura direta e seu efeito no fluxo de ar e água de um latossolo argiloso sob tráfego controlado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileiro**. Porto Alegre: SBCS, Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2007.

TAVARES-FILHO, J. FONSECA, I. C. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.996-999, maio/jun. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v36n3/a45v36n3.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. L. Propriedades físico-hídricas de um latossolo Vermelho submetido a diferentes Sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1271-1280, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/06.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2012.