

**ANÁLISE DO SISTEMA POROSO E HÍDRICO DE UMA VERTENTE
CONSTITUIDA POR “LATOSSOLO/NITOSSOLO”**

**ANALYSIS OF THE POROUS AND HYDRIC SYSTEM FROM A SLOPE
COMPOSED OF “LATOSOL/NITOSOL”**

Vanderlei Leopold Magalhães

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira

E-mail: vlmagalhaes@utfpr.edu.br

José Edézio da Cunha

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Marechal Cândido Rondon

E-mail: edeziocunha@hotmail.com

Maria Teresa de Nóbrega

Universidade Estadual de Maringá - UEM

E-mail: mtnobrega@uol.com.br

RESUMO. Visando corroborar com as discussões sobre a dinâmica hídrica dos solos, realizou-se a pesquisa em uma vertente representativa do platô da cidade de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Paraná. Para este reconhecimento, além das sondagens foram analisadas duas trincheiras, respectivamente nos setores de topo e média baixa vertente, contemplando a descrição macromorfológica e a coleta de amostras para as análises físicas, hídricas e micromorfológicas dos horizontes. No setor de topo foi encontrado o Latossolo Vermelho Eutrófico e a partir da média vertente o Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico. Micromorfológicamente, os horizontes Ap e Bw apresentam trama porfírica fechada e/ou aberta e trama enáulica. Nas zonas enáulicas, predominam os poros interagregados com alta conectividade – porosidade de empacotamento composto, e nas zonas porfíricas, a porosidade é constituída por poros cavitários e planares. Os horizontes AB e B nítico apresentam, predominantemente, trama porfírica fechada, o que os deixam menos comunicantes. Nestes horizontes, em alguns setores isolados, também foi identificada a trama do tipo enáulica. Em termos hídricos, observou-se que os horizontes Ap e Bw apresentaram maior condutividade hidráulica em detrimento aos horizontes AB e B nítico com menores índices, reforçando que o arranjo dos poros interfere diretamente no comportamento hídrico do sistema pedológico.

Palavras-chave: Toposequência de solos, Porosidade, Condutividade hidráulica.

ABSTRACT. Aiming to corroborate with the discussions about the hydric dynamics of the soils, the research was conducted on a representative slope of the plateau of Marechal Cândido Rondon town, located in the west region of Paraná State. For this recognition, not only systematized probings were done along the slope, but also analysis were made of two trenches respectively on the top and in the middle low slope sectors, which were carried out for the macromorphological description and the samples collection in order to conduct physical, hydric and micromorphological analysis of the horizons. In the top sector it was found the Oxisol (Rhodic Eutrudox), and from the middle sector the Ferralic Nitisol (Rhodic Hapludox). Micromorphologically, the horizons Ap and Bw present closed and/or open porphyric fabric and enaulic fabric. In the enaulic zones, the interaggregated pores with high connectivity predominate - compound packing porosity, and in the porphyric zones cavities and planar pores form the porosity. The AB and B nitic horizons predominantly present closed porphyric fabrics, which make them less communicating. In these horizons, in some isolated sectors, the enaulic fabric was also identified. In hydric terms, it was observed that the horizons Ap and Bw have shown higher hydraulic conductivity in comparison to the AB and B nitic horizons, so it can be concluded that the pores arrangement directly interfere in the hydric behavior of the pedological system.

Keywords: Soil toposquence, Porosity, Hydraulic conductivity.

INTRODUÇÃO

Abordar a paisagem como um sistema tem sido uma das melhores formas de compreensão do espaço geográfico. Conforme aponta Dollfus (1972), esta categoria de análise representa o aspecto visível do espaço, definido pelas formas da Terra, tanto em seus aspectos naturais como pelas consequências das ações humanas no ambiente.

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.

Conforme Nóbrega e Cunha (2011), a unidade de paisagem, que corresponde a um dado setor, identificado e delimitado em decorrência da sua homogeneidade interna na escala considerada, pode ser assumida como um sistema caracterizado por suas inter-relações internas e externas (conexões com outras unidades), configurando-se como um instrumento de mapeamento e como um meio de aplicação do conhecimento da paisagem, servindo de base para a avaliação da suscetibilidade da paisagem em face de vários tipos de uso.

É por essa razão que, nesta pesquisa, tem-se como ponto de partida a caracterização das formas do relevo, pois são estas que além de possibilitarem o dimensionamento das unidades elementares (vertentes) para fins analíticos, permitem o entendimento, por exemplo, de processos de pedogênese e morfogênese, considerados relevantes 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).

Visando discutir esta problemática, ressaltam-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. 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.

Assim, o tamanho e o arranjo natural do espaço poroso dependem do tamanho e da 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 esta densidade aumenta, a porosidade total diminui. Segundo Kiehl (1979), o aumento da densidade do solo, em profundidade, tende a ocorrer 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_o).

O conhecimento do arranjo poroso e da condutividade hidráulica dos solos na vertente 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. Assim, este estudo tem o objetivo de entender a dinâmica hídrica e sua relação com a porosidade do solo de uma vertente do compartimento geomorfológico do Platô de Marechal, localizada na cidade de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

A região Oeste do Estado do Paraná, localizada no Terceiro Planalto Paranaense, é a mais extensa das unidades de relevo do Paraná. Este planalto é constituído por rochas ígneas eruptivas, principalmente basaltos, com exceção da porção Noroeste que é recoberta por rochas sedimentares areníticas (Formação Caiuá).

Ao longo do tempo, o substrato geológico tem sido entalhado por uma rede de drenagem, configurando vales e se organizando em bacias hidrográficas de diferentes ordens, desde a mais abrangente, como a bacia do Paraná, que se estende fora dos limites nacionais, até as bacias dos seus tributários, com grande significado regional, como a do Iguaçu e do Piquiri; e outras, de ordem inferior, que têm maior importância num contexto local, como a bacia do rio São Francisco Verdadeiro e a do Guaçu, cujos rios são afluentes da margem esquerda do rio Paraná e delimitam o município de Marechal Cândido Rondon, ao sul e ao norte, respectivamente.

O município de Marechal Cândido Rondon, com área de 748 km², neste Terceiro Planalto Paranaense, está assentado sobre os setores representados por 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).

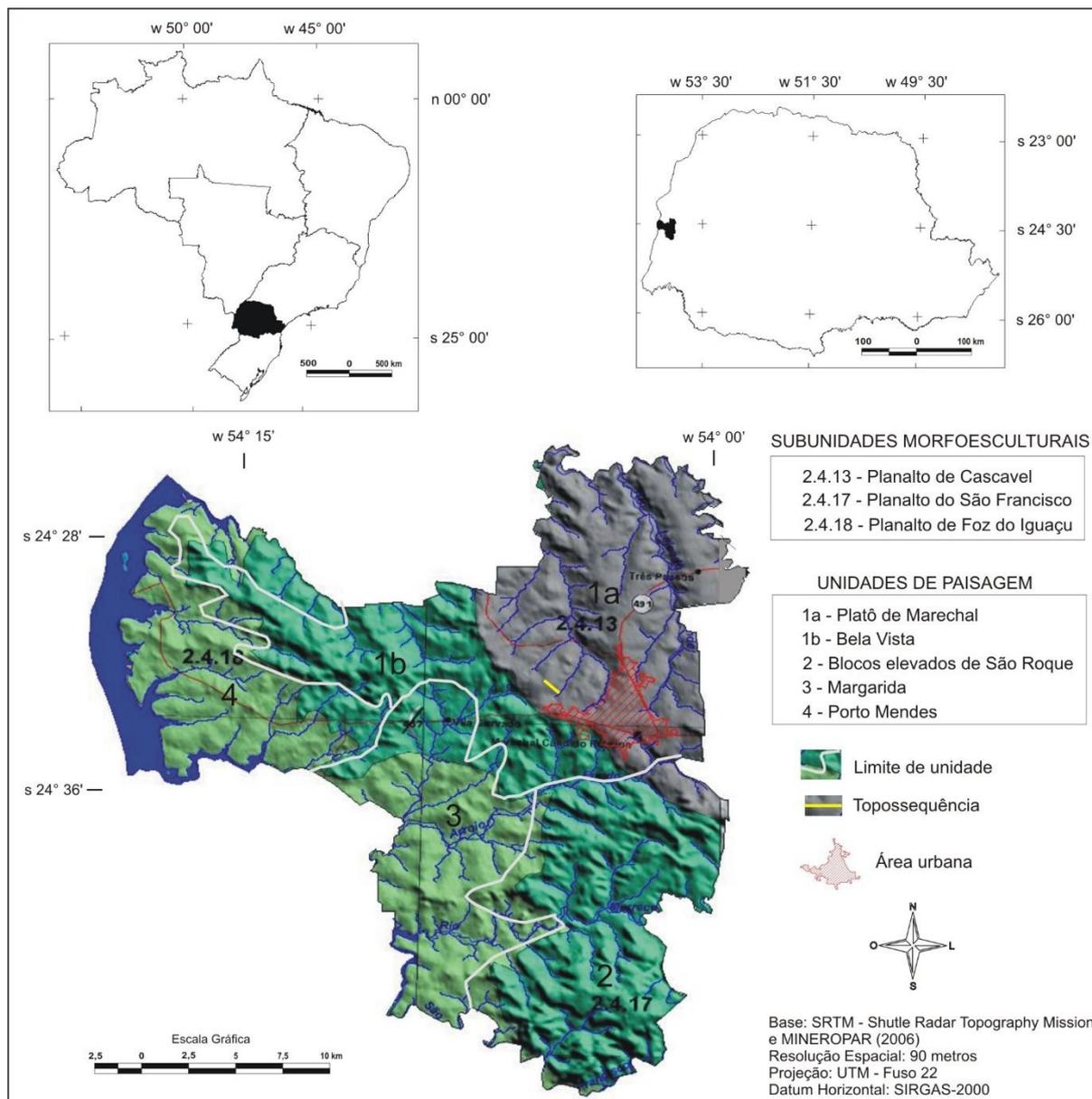


Figura 1: Localização do município de Marechal Cândido Rondon e dos planaltos e unidades de paisagem.

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 nesta subunidade (Figura 1).

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 variadas e acentuadas apresentando, muitas vezes, segmentos escarpados junto ao topo e vales 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.

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 1). 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.

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 (Figura 1), 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, hídricas e micromorfológicas.

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, a quantificação da porosidade (macro e micro) e a 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 à mesa de tensão com coluna de água de 100 cm por 12 horas. Nesta primeira etapa foi definida a macroporosidade e, após 24 horas do material na estufa, definiu-se a microporosidade. Este 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).

O estudo da dinâmica hídrica foi complementado com observações micromorfológicas nas lâminas delgadas - impregnadas com resina acrílica - realizadas com o emprego de microscópio óptico petrográfico, com objetiva 2,5 e 4X, sob luz natural e nicóis cruzados (luz polarizada). Nesta fase, obedeceram-se às recomendações de Bullock et al. (1985) para a identificação e classificação dos atributos e das organizações dos componentes do solo (lâmina) denominados de micromassa (<2 µm), material grosseiro (entre 2 e 2000 µm de diâmetro) e poros (entre 30 e 500 µm).

As fotos obtidas com o microscópio óptico ainda foram submetidas ao sistema de classificação de imagens do *software* ArcGis[®] 10.1, com o objetivo de gerar imagens binárias que evidenciassem a geometria dos poros, sua forma e conexão.

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. Esta topossequência apresenta 740 metros de extensão e 45 metros de desnível topográfico, com predomínio da forma convexa (Figura 2). Em toda a sua extensão é ocupada por culturas temporárias com sistema de plantio direto há mais de 20 anos.

A cobertura pedológica é muito argilosa ao longo de toda a topossequência, exibindo, entretanto, variações de estrutura, grau de compactação e, 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 ilustrado na figura 2, a topossequência apresenta dois conjuntos pedológicos distintos. O primeiro, com 320 metros de extensão e que se estende do topo até a média vertente (sondagens 1 a 3 e trincheira 1), é constituído por quatro horizontes. O segundo, de 470 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 horizontes.

O conjunto de montante está organizado pela sequência vertical de horizontes Ap, AB, Bw1 e Bw2. Em sua extensão, o horizonte A tem, em média, 17 cm de espessura. Este material é predominantemente de cor bruno-avermelhado-escuro (2.5YR 3/4) e textura muito argilosa, conforme evidenciado pelos dados granulométricos (Tabela 1). Sua estrutura é fraca, constituída de grânulos pequenos de até 1 cm de diâmetro e sua consistência é plástica e pegajosa, quando molhada. Já o horizonte AB de 26 cm de espessura, embora apresente as mesmas características de textura e consistência, 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, estes blocos apresentam formas mais arredondadas e de menor diâmetro (até 3 cm). Esta maior resistência do material pode ser explicada pela compactação verificada em campo e pela densidade do solo determinada no laboratório.

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 estrutura é caracterizada por blocos subangulares de moderada resistência, de até 3 cm de diâmetro. Este material, quando

quebrado, se desfaz em blocos menores de fraca resistência, indicando friabilidade, com consistência plástica e pouco pegajosa, quando molhada. 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.

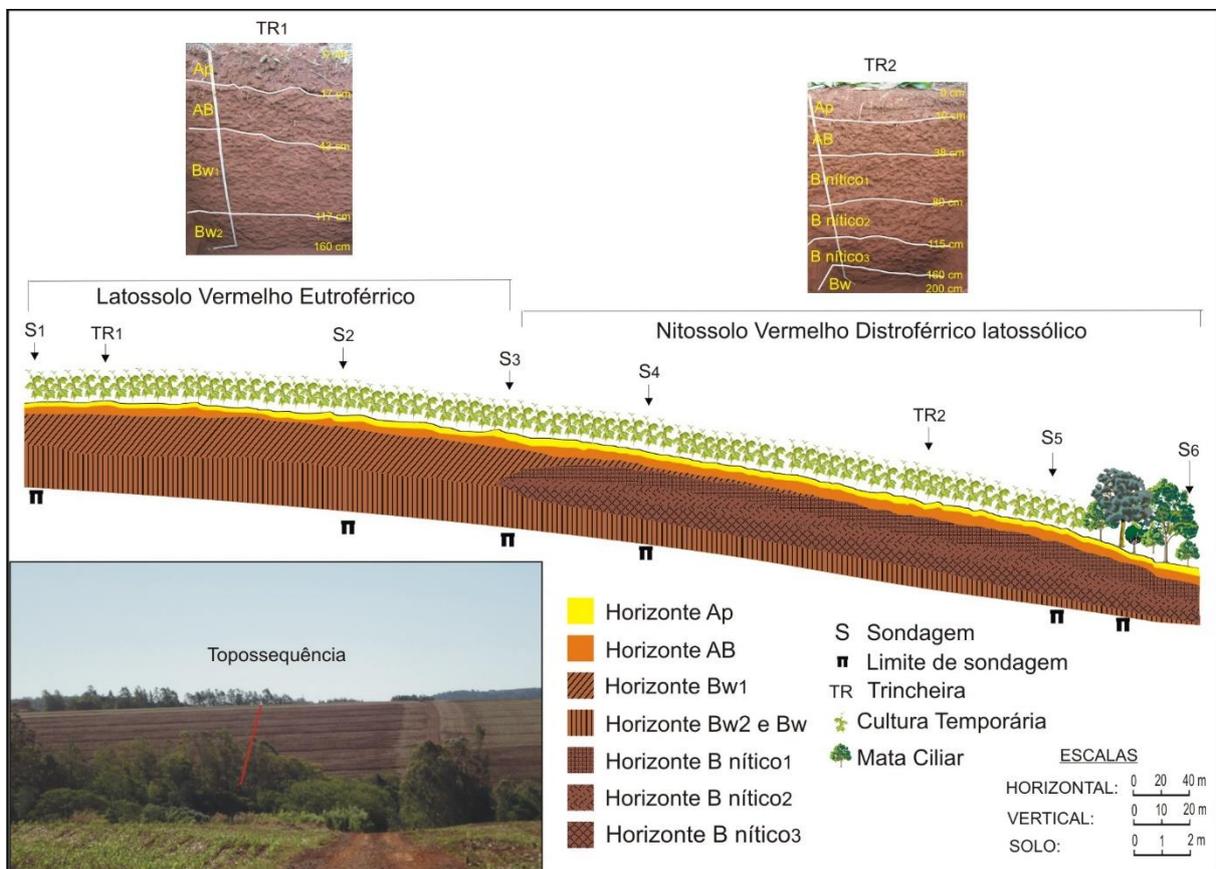


Figura 2: Topossequência de solos do Platô de Marechal.

Os horizontes Ap, 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 horizontes 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 deste 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.

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

Trincheira Horizonte	Prof. Hor. (cm)	Granulometria (%)			A N (%)	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

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

Desse modo, o conjunto de jusante é constituído pelos horizontes Ap, AB, B nítico (subdividido) e Bw (Figura 2). Em sua extensão, o horizonte Ap 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-azincetada (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-azincetada (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. Este 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 a 40 cm de espessura. Este tem cor vermelho-escura (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 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. Estes dados juntamente com valores de argila natural permitiram demonstrar o comportamento da argila em termos de dispersão e floculação (Tabela 1).

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 Ap e AB. Porém, esse comportamento não se reproduz a partir da média vertente (sondagem 3) ao sopé, onde o volume AB tem apenas 4% de dispersão.

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, se repete 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 Ap e AB apresentaram 32% e 48% de floculação, respectivamente. Enquanto na média vertente esse horizonte Ap 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 floclada do que em superfície, apresentando valores em torno de 81%, que diminuem lateralmente para 78%. Os volumes do B nítico se apresentam mais floclados em profundidade, iniciando com 78% no B nítico1 e chegando a 96% no B nítico3. De acordo com a Embrapa (1984), uma das características dos Latossolos é o alto grau de floclação no horizonte Bw, que pode atingir 100%.

Conforme outros trabalhos desenvolvidos nesta unidade paisagem, e se adequando ao terceiro nível categórico da classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 2013), esse sistema pedológico é organizado no setor de topo por horizontes de solos que correspondem ao Latossolo Vermelho Eutrófico e, transiciona lateralmente para volumes de solos que correspondem ao Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico.

A análise da condutividade hidráulica pode ser feita em paralelo com os dados apresentados nas figuras 3 e 4, nas quais se apresenta a distribuição da densidade do solo, a porosidade nos perfis de solo e os tipos de poros verificados nas lâminas delgadas.

No Platô de Marechal, a variação vertical e lateral dos dados de densidade do solo (Tabela 1 e Figura 3) evidencia um adensamento maior nos horizontes superiores da cobertura, mais significativo no horizonte AB, onde é acompanhado por uma redução da porosidade. Este horizonte AB apresenta porosidade total diminuída em cerca de 10% em relação ao horizonte superficial, em posição de topo e em cerca de 15%, no sopé da vertente. Entretanto, essa diminuição afeta principalmente a macroporosidade, cuja redução varia entre 56% (topo) e 66% (sopé).

Nos horizontes subjacentes, a densidade do solo diminui de forma acentuada na passagem para o Bw e B nítico. Os valores se mantêm aproximados, seja no Bw (Bw1 e Bw2) do setor alto da vertente, seja no B nítico (B nítico1, B nítico2, B nítico3). Por outro lado, na baixa vertente, o Bw apresenta os valores de densidade do solo mais baixos de toda a topossequência (Figura 3).

Esse comportamento também se reflete nos dados de porosidade total que se mantêm próximos no Bw e no B nítico. Observa-se, contudo, tomando-se o horizonte AB como referência, que, no setor de montante da topossequência, os valores de porosidade total apresentam apenas um ligeiro aumento em profundidade, da ordem de 3,5% no Bw2. Na baixa vertente, esse aumento é de cerca de 11% para o B nítico1, logo abaixo do AB, continuando a aumentar gradualmente, chegando a acréscimos de 26,5% no Bw, abaixo do B

nítico3. A macroporosidade, substancialmente reduzida no horizonte AB, aumenta nos horizontes B (Bw e B nítico) em mais de 85%, no Bw1 do topo e, em 105%, no B nítico1 no setor de baixa vertente. Enquanto a macroporosidade é gerada pelos arranjos estruturais do material do solo, a microporosidade é condicionada, preferencialmente pela textura do material. A macroporosidade possibilita a circulação hídrica livre e a microporosidade vai atuar, sobretudo, na retenção da água e no seu armazenamento. Assim, à medida que a estrutura se transforma, o balanço entre a macro e a microporosidade se altera, como se observa ao longo desta topossequência, tanto vertical como lateralmente e, conseqüentemente, é capaz de produzir variações no comportamento hídrico da cobertura pedológica.

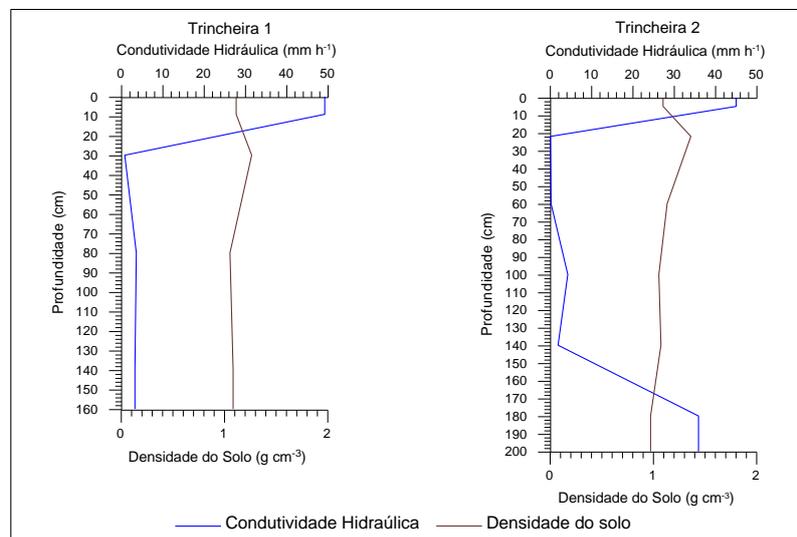


Figura 3: Comportamento da condutividade hidráulica e da densidade do solo dos perfis de solo da topossequência do Platô de Marechal.

Em termos hídricos, o conjunto pedológico de montante, constituído pelo Latossolo Vermelho Eutroférico, apresenta condutividade hidráulica (CH) moderada no horizonte Ap (49,37 mm h⁻¹), muito lenta no horizonte AB (0,93 mm h⁻¹) e lenta nos volumes do Bw, com valores de 3,72 mm h⁻¹ para o Bw1 e 3,39 mm h⁻¹ para o Bw2 (Tabela 1 e Figura 4).

No conjunto pedológico de jusante, constituído pelo Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico, a condutividade hidráulica no horizonte Ap apresenta-se moderada (45,15 mm h⁻¹) e, no horizonte AB, muito lenta (0,15 mm h⁻¹). Nas subdivisões do B nítico, a condutividade hidráulica é classificada como muito lenta (0,32 mm h⁻¹) no B nítico1 e lenta no B nítico2 (4,40 mm h⁻¹) e no B nítico3 (2,07 mm h⁻¹), enquanto o horizonte Bw apresenta condutividade hidráulica moderada (36,03 mm h⁻¹), neste setor da vertente.

A tabela 2 evidencia as tramas e os tipos de poros, enquanto a Figura 4 mostra a variação, distribuição e tamanho dos poros observados nas lâminas delgadas dos volumes de solos característicos dessa topossequência. Como a análise micromorfológica indica, há uma transformação do sistema poral da superfície para a base dos perfis estudados, que se reproduz ao longo de toda a topossequência, com algumas diferenças laterais relacionadas à transformação do Bw em B nítico, partindo-se do topo para o sopé da vertente.

Tabela 2: Micromorfologia da trama e dos poros dos horizontes de solos do sistema pedológico do Platô de Marechal.

Atributos	Horizontes				
	Ap	AB	Bw1 / Bw2	B nítico	Bw
Trama	1) Enáulica 2) Porfírica fechada	1) Porfírica aberta 2) Porfírica fechada 3) Enáulica	1) Porfírica fechada 2) Porfírica aberta 3) Enáulica	1) Porfírica fechada 2) Enáulica 3) Porfírica aberta	1) Porfírica fechada 2) Porfírica aberta 3) Enáulica aberta
Poros	1) Interagregados, empacotamento composto 2) Planares e cavidades policôncavas e ovaladas	1) Cavidades alongadas e curvas e policôncavas 2) Planares e cavidades ovaladas 3) Interagregada de empacotamento composto	1) Fissuras - longas e de abertura 2) Cavitária - ovaladas 3) Empacotamento composto	1) Planar interagregados e cavidades ovaladas 2) Empacotamento composto 3) Planar, cavitária	1) Fissuras - longas e de abertura 2) Cavitária - ovaladas 3) Empacotamento composto

Verticalmente, observa-se que o horizonte superficial (horizonte Ap) da cobertura pedológica exibe ainda uma parte importante da porosidade (macroporosidade) de tipo empacotamento composto, gerada pelo arranjo enáulico de cerca da metade da matriz do horizonte. Nas zonas de arranjo contínuo (trama porfírica), a macroporosidade é bastante reduzida e do tipo cavitária e fissural. A proporção entre os dois tipos de arranjos e a sua distribuição garantem ainda uma conectividade entre os poros, sobretudo para aqueles de empacotamento composto. Abaixo do horizonte superficial, entretanto, como se observa na figura 4, o material está adensado (horizonte AB), as zonas enáulicas são drasticamente diminuídas, o arranjo é predominantemente de tipo porfírico e a macroporosidade é preferencialmente cavitária e fissural com conectividade fraca ou nula. Essa transformação do espaço poral significa o fechamento de parte substancial da porosidade estrutural por onde

circulam os fluxos hídricos livres e o aumento da porosidade textural, ou seja, da microporosidade, responsável pela retenção da água. As taxas de condutividade hidráulica obtidas (Tabela 1 e Figura 4) comprovam a alteração no comportamento hídrico.

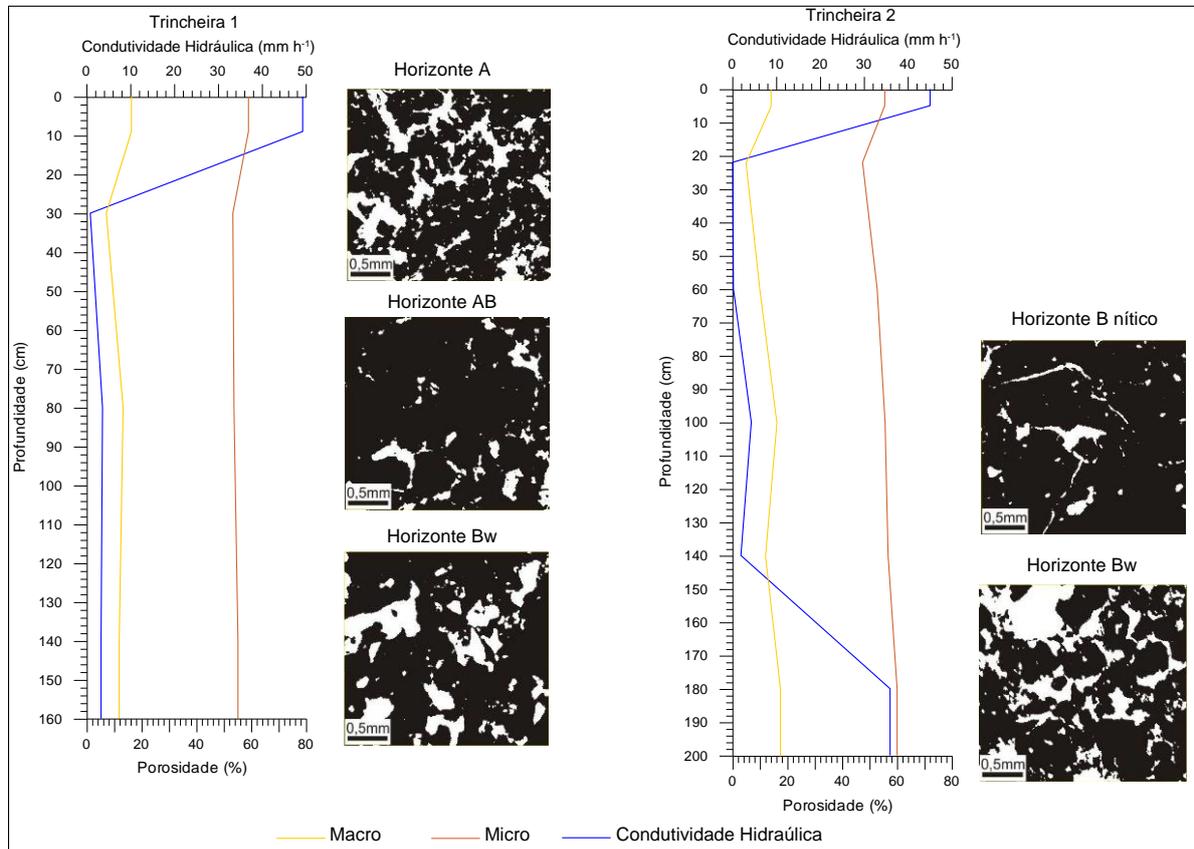


Figura 4: Comportamento da condutividade hidráulica e da macro e microporosidade, dos perfis de solo da topossequência do Platô de Marechal. Nas imagens binárias os poróides aparecem em branco e a fase sólida em preto.

Corroborar com 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. Este fato também foi confirmado por Rosa et al. (2007) em um Latossolo Vermelho Distrófico do Rio Grande do Sul, sob tempos diferenciados de implantação do sistema de semeadura direta.

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 $1,50 \text{ g cm}^{-3}$, mas que depois da escarificação pode diminuir significativamente, atingindo valores de $0,99 \text{ g cm}^{-3}$.

Kertzman (1996), também utilizando imagens binárias para representar a organização dos microagregados e do seu espaço poral, evidenciou que, dos 10 aos 35 cm de profundidade, a porosidade do solo na área cultivada com plantio direto é bem mais reduzida do que um solo sob a mata. Esta compactação reduziu as taxas de infiltração da água em mais de 20 vezes. Para o autor, esta diminuição da infiltração foi provocada pela redução de poros interagregados e, principalmente, pela baixa conectividade.

No platô, apesar da elevação da macroporosidade e da porosidade total, tanto no horizonte Bw (Bw1 e Bw2), no trecho superior da vertente, quanto no B nítico (B nítico1, B nítico2, B nítico3), os valores baixos de condutividade hidráulica evidenciam a fraca conectividade da porosidade. Mesmo com o aumento de zonas de trama enáulica e porosidade de empacotamento composto em relação às zonas porfíricas no Bw1 e Bw2, a montante, a tendência generalizada à aglomeração desses microagregados transforma parte da porosidade de empacotamento composto em porosidade cavitária, diminuindo muito a sua conectividade, o que explica as taxas de condutividade hidráulica reduzidas. À jusante, a porosidade predominantemente fissural e cavitária, característica do B nítico, é a responsável pela baixa condutividade. O horizonte Bw subjacente, na média e baixa vertente, exhibe zonas de porosidade interagregada (poros de empacotamento composto) mais ampliadas e conectadas entre si, contendo, ainda, zonas porfíricas com porosidade cavitária fracamente conectada, mas que interferem menos na circulação hídrica, possibilitando, pelos valores obtidos, circulação hídrica moderada, semelhante àquela observada no horizonte superficial Ap.

A análise micromorfológica permite afirmar, desse modo, que o tipo, a organização e a distribuição dos poros na matriz do solo condicionam a conectividade da porosidade e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica, explicando, também, as variações e as relações entre esta e os dados de porosidade total, macro e microporosidade verificados nos horizontes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No sistema pedológico, constituído por Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico, apesar da tendência de crescimento da condutividade hidráulica com o aumento da porosidade total e da macroporosidade, como mostram os dados

obtidos, observa-se que a elevação da porosidade total ou da macroporosidade não é acompanhada, na mesma intensidade, pela condutividade hidráulica. A porosidade total e a macroporosidade mais elevadas no Bw não foram capazes de condicionar as mesmas taxas de condutividade hidráulica verificadas no horizonte Ap, do mesmo modo que valores similares de porosidade ou, mais especificamente, de macroporosidade, não correspondem às taxas próximas de condutividade hidráulica.

O mesmo comportamento pode ser observado quando se relacionam os dados de densidade do solo com a condutividade hidráulica. A relação estreita entre porosidade total e densidade do solo não se reproduz com a condutividade hidráulica. Logo, além das interferências do balanço entre a macro e microporosidade no comportamento hídrico dessa cobertura pedológica, deve-se considerar, também, o tipo de poros, a sua distribuição e grau de conectividade, sobretudo com respeito à macroporosidade, já que esta é a principal responsável pela circulação hídrica. As observações micromorfológicas contribuem, nesse caso, para o entendimento da configuração do sistema poroso e do seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5 ed. São Paulo: Icone, 2005.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; POTTER, O.; AGLIO, M. L. D.; SILVA, J. S.; CHAFFIN, C. E.; CARVALHO JUNIOR, W. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/339505/mapa-de-solos-do-estado-do-parana>>. Acesso em: 07 out. 2015.
- BIGARELLA, J.J., MOUSINHO, M.R.; XAVIER da SILVA, J. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, (16 e 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.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description.** Wolverhampton: Waine Research Publishers, 1985.

DOLLFUS, O. **O espaço geográfico.** São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1972.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná.** Curitiba: EMBRAPA – SNLCS / SUDESUL / IAPAR, 1984.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: CNPS, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção e Informação, 2013.

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.

KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação do solo.** 1996. 153f. Tese (Doutorado em Geografia). FFLCH – Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, SP, 1996.

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

LEMOS, 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.

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/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=133>>. Acesso em: 07 out. 2015.

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

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Revista Espaço Plural.** v. 12, n. 25, Unioeste, Marechal Cândido Rondon: CEPEDAL, 2011. p.62-73 Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/espacoplural/issue/view/468>>. Acesso em: 07 out. 2015.

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

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. **Anais...** Porto Alegre: SBCS, Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2007.

TAVARES-FILHO, J.; FONSECA, I. C. de B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. de C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**. v. 36, n. 3, Santa Maria, mai/jun. 2006, p. 996-999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000300045>. Acesso em: 07 out. 2015.