

## Solos da Bacia Hidrografia Paraná III e parte da Bacia Hidrográfica Piquiri<sup>(1)</sup>

Gustavo Ribas Curcio<sup>(2,4)</sup>, João Bosco Vasconcellos Gomes<sup>(2)</sup>, Deniz Paulo Ferlin Junior<sup>(3)</sup>, Marlon Antonio Debrino<sup>(3)</sup> e Maurício Kacharouski<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Trabalho realizado com apoio financeiro da Embrapa, Governo do Estado do Paraná e Itaipu Binacional. <sup>(2)</sup> Embrapa Florestas, Colombo, PR; <sup>(3)</sup> Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (Faped), Sete Lagoas, MG. <sup>(4)</sup> gustavo.curcio@embrapa.br

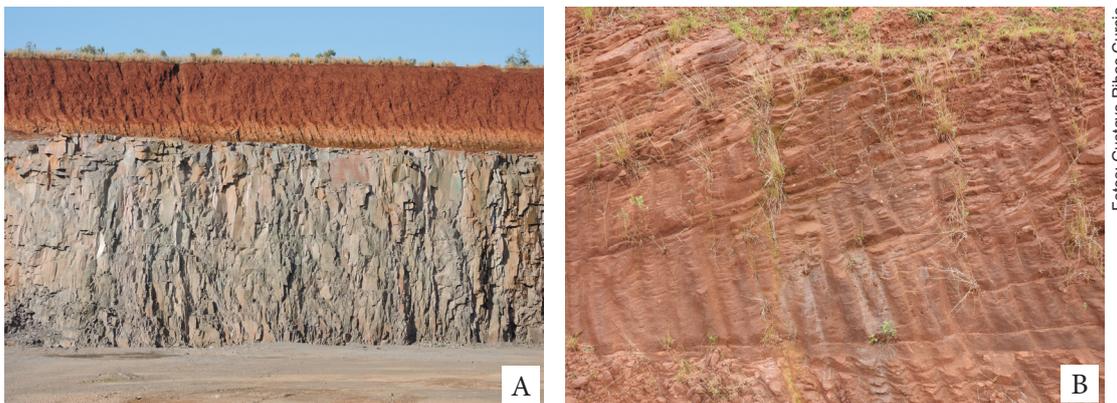
### Introdução

Os resultados e as informações apresentados nesse capítulo foram obtidos ao longo dos levantamentos de solos efetuados nas Bacias Hidrográficas Paraná III (BHP III) e parte da Piquiri (BHP) pelo Projeto PronaSolos PR, entre 2018 e 2022.

A motivação para escrever esse capítulo encontra dois pilares de sustentação técnica. O primeiro é o de apresentar para os participantes da *1ª Reunião de correlação e classificação de solos e vegetação fluvial* (RCCSVF) algumas características morfológicas, químicas e granulométricas dos solos que compõem as paisagens das citadas bacias. O segundo pilar, desafio maior, é proporcionar do ponto de vista da pedologia um melhor entendimento da dinâmica da paisagem, interagindo com as informações contidas em outros capítulos.

### Material de origem

As paisagens da BHP III, predominantemente, têm sua origem relacionada às rochas eruptivas do vulcanismo da Bacia do Paraná (Figura 1A) e, uma menor parte, na porção norte, atrelada ao recobrimento dessas por rochas sedimentares do Arenito Caiuá (Figura 1B).'



**Figura 1.** Paisagens da Bacias Hidrográficas Paraná III com rocha vulcânica e Latossolo Vermelho (A) e estratificações do Arenito Caiuá (B).

As rochas vulcânicas da Bacia do Paraná (vide artigo *Geologia das Bacias Hidrográficas Paraná III (BHP III) e Piquiri (BHP)*) são representadas predominantemente por rochas básicas, basaltos (Nardy, 1995; Marques; Mineropar, 2001; Ernesto, 2004), com nuances de derrames mais ácidos, todos responsáveis pela formação de solos majoritariamente muito argilosos e argilosos, com grande quantidade de minerais pesados, como ferro, titânio e manganês (Embrapa, 1984).

O “pacote arenítico” proporciona decréscimos marcantes nos teores de argila e, conseqüentemente, na trama estrutural e na Capacidade de Troca de Cátions (CTC) dos solos. Esses aspectos ensejam mudanças discrepantes e negativas no potencial e na fragilidade dos solos em relação àqueles derivados de litoestratigrafia vulcânica.

Sedimentos fluviais indiferenciados do Holoceno constituem as planícies, onde se tem o processo acelerado de construção e desconstrução de solos com diferentes regimes hídricos (hidromórfico a não hidromórfico), grande parte ocupados por florestas fluviais em diferentes graus de conservação (Figura 2).



**Figura 2.** Floresta fluvial em planície de Província Patamarizada em litoestratigrafia vulcânica.

## Distribuição dos solos na paisagem

### Solos desenvolvidos em rochas eruptivas

Quanto às suas conformações, as paisagens elaboradas sobre rochas eruptivas podem ser divididas em duas províncias geomorfológicas: Convexada e Patamarizada (vide artigo *Províncias geomorfológicas da área foco da 1ª RCCSVF: características e funcionalidades*). A primeira é amplamente ocupada por Latossolos Vermelhos (LV), predominantemente posicionados nos terços superior e médio em relevos plano a suave ondulado (Tabela 1). Como herança litotípica, possuem caráter férrico e textura muito argilosa. Estes solos suportam a maior parte da produção de grãos da região, baseada na sucessão soja/milho segunda safra e com produtividades muito altas (Figuras 3A e 3B).



**Figura 3.** Na Província Convexada: Latossolo Vermelho (A) e relevo de ocorrência de Latossolo Vermelho (B).

**Tabela 1.** Relações entre substrato geológico, províncias, altimetria, formas de rampa, relevo e distribuição na paisagem dos solos predominantes da Bacia Hidrográfica Paraná III e pequena parte da Bacia Hidrográfica do Piquiri.

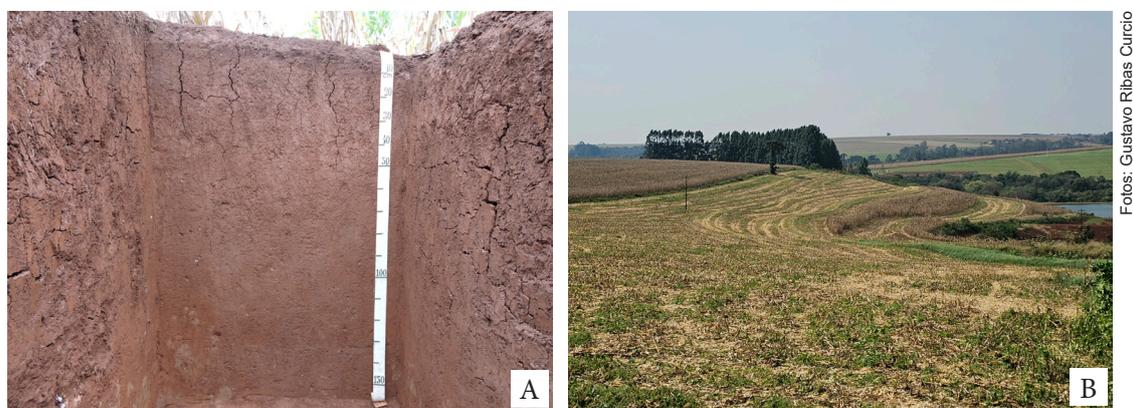
Geologia	Província	Altimetria (m)	Rampa <sup>(1)</sup> ou posição de paisagem	Relevo <sup>(2)</sup>	Solo predominante <sup>(3)</sup>
Eruptiva	Convexada	Acima 600	c-r	p-s <o	LVdf
			c-d		
			c-c	o	NVef
Eruptiva	Convexada	600 a 450	c-r	p-s <o	> LVdf, < LVef
			c-d		
			c-c	o	NVef
Eruptiva	Convexada	450-220	c-r	p-s <o	> LVef, < LVdf
			c-d		
			c-c	o	NVef
Eruptiva	Patamarizada	650-250	topo	p-s-o	RRe, RLe, CXbef
Eruptiva	Patamarizada	650 a 250	erosional	o-f-m	RRe, RLe
Eruptiva	Patamarizada	650 a 250	coluvionar	o	NVef, TCpf, TEpf
Arenito	Convexada	420 a 230	c-r		
			c-d	p-s-o	LVd, PVd, PVAd, PACd
			c-c		

<sup>(1)</sup> Rampas: c-r = convexa-retilínea, c-d = convexa-divergente e c-c = côncava-convergente;

<sup>(2)</sup> Relevo: p = plano, s = suave ondulado, o = ondulado, f = forte ondulado e m = montanhoso;

<sup>(3)</sup> Classes de solo – primeira letra maiúscula (Ordem): L = Latossolo, N = Nitossolo, P = Argissolo, T = Luvisolo, R = Neossolo, C = Cambissolo; segunda e terceira letras maiúsculas (Subordem): V = Vermelho, C = Crômico, E = Ebânico, X = Háptico, L = Litólico, R = Regolítico, VA = Vermelho-Amarelo, AC = Acinzentado; letras minúsculas (Grande Grupo): df = Distroférico, ef = Eutroférico, d = Distrófico, e = Eutrófico, pf = Paliférico, bef = Tb Eutroférico.

De forma complementar, na província convexada os Nitossolos Vermelhos (NV) com caráter férrico encontram-se posicionados no terço inferior das encostas (Tabela 1), predominantemente, em relevo ondulado (Figuras 4A e 4B).



**Figura 4.** Em terço inferior de encosta, na Província Convexada: Nitossolo Vermelho (A) e relevo de ocorrência de Nitossolo Vermelho (B).

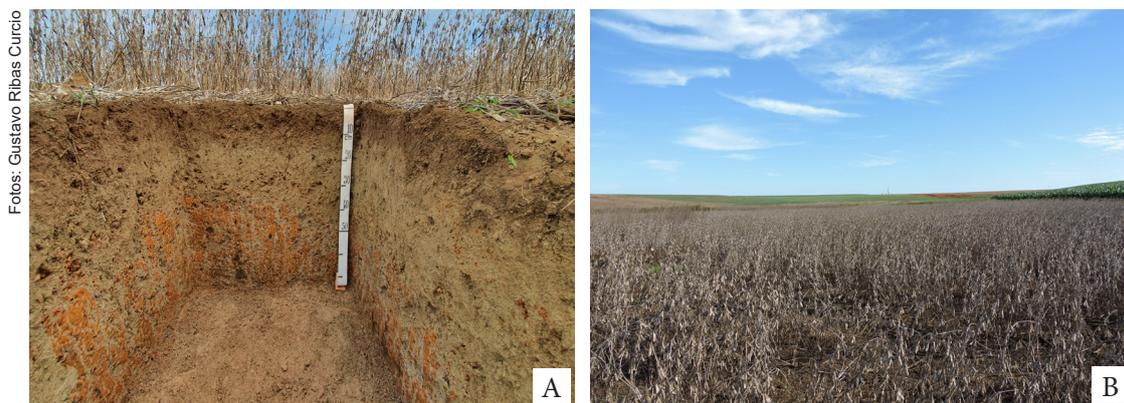
Em razão desse posicionamento, os Nitossolos estão sujeitos à elevada “compressibilidade lateral” de massa (vide artigo *Províncias geomorfológicas da área foco da 1ª RCCSVF: características e funcionalidades*), condição contrastante com as zonas de topo que apresentam “distensibilidade lateral” (posicionamento dos LVs), o que contribui para a forte distinção morfológica estrutural entre as duas classes, respectivamente, forte em blocos e forte granular. O caráter férrico de ambas as classes de solos se refere aos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  extraídos pelo ataque sulfúrico nos seus horizontes diagnósticos. Para os LV os teores devem ser maiores que 18 e menores que  $36 \text{ dag kg}^{-1}$ , enquanto para o NV devem ser superiores a 15 e inferiores a  $36 \text{ dag kg}^{-1}$  (Santos et al., 2018).

A presença do caráter férrico, entre outros aspectos, aumenta a capacidade de sorção de ânions, a exemplo do que ocorre com os fosfatos (Campos et al., 2016), exigindo grande atenção por parte de técnicos e produtores rurais para o manejo dos solos, sobretudo aspectos relacionados à adubação.

Assim como os LVs, os NVs têm sobre si o predomínio do mesmo binômio de produção - soja/milho, em manejos similares.

Ainda nos topos dos interflúvios da Província Convexada, chama a atenção o pequeno percentual de área constituído por relevos abaciados, com diferentes graus de abatimento — o relevo doliniforme (Figura 5B). Essa fisiografia exhibe feições diversas — semicirculares a alongadas — sem a presença de canais naturais superficiais que tornem possível a saída de água, favorecendo a presença de solos com presença marcante de hidromorfismo — Plintossolo Pétrico (Figura 5A).

A formação dessa classe de solo nessa zona abaciada acontece em regime hídrico saturado a semisaturado, onde se desencadeiam processos sucessivos de segregação, mobilização e acumulação dos óxidos de ferro e manganês, entre outros, provenientes dos solos férricos que edificam as paisagens circunvizinhas, mais altas, favorecendo a formação de plintita e petroplintitas nos solos.

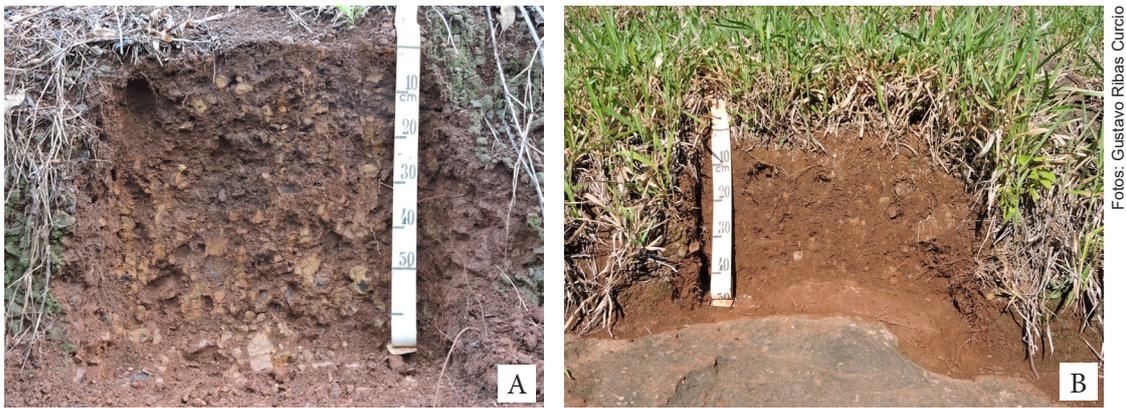


**Figura 5.** Nos topos dos interflúvios da Província Convexada: Plintossolo Pétrico (A) em relevo doliniforme (B).

O regime áquico dos solos nestas depressões, reconhecido por feições redoximórficas (Vebraskas; Lindbo, 2012), em grande parte, está alterado por canais de drenagem construídos para estabelecer o cultivo de grãos (soja, milho, arroz). No entanto, com a adições de adubos e de defensivos agrícolas nestas culturas, fica exponenciado o risco de contaminação do lençol freático e do aquífero Serra Geral, sobretudo, se houver algum condicionamento de ordem estrutural (falhas e fraturas) para a materialização desses relevos.

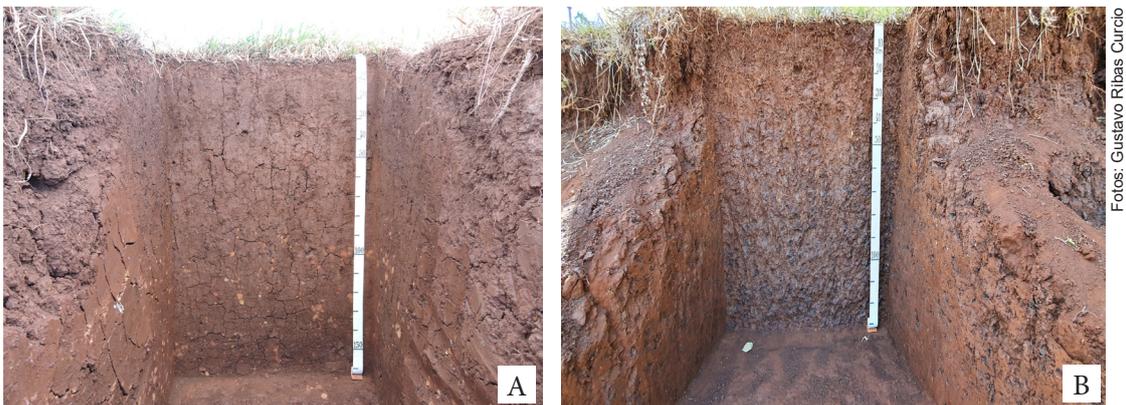
A Província Patamarizada tem ocorrência exclusiva sobre rochas eruptivas e suas encostas possuem formas muito peculiares, os degraus, expondo alternadamente solos menos desenvolvidos, não raramente, afloramentos de rochas. Assim, nas rampas erosionais, especificamente entre as superfícies de inflexão e deflexão (vide artigo *Províncias geomorfológicas da área foco da 1ª RCCSVF: características e funcionalidades*) encontram-se solos adelgaçados, pedregosos e rochosos (Neossolos Regolíticos – RR e Neossolos Litólicos – RL), de textura média e argilosa, em relevos forte ondulado e montanhoso, raramente escarpado (Figuras 6A e 6B).

O uso agrícola nesses solos é muito restrito, com assinaturas nítidas e comprometedoras de erosão (fase erodida), associando-se historicamente ao cultivo de grãos e pastagens de baixa qualidade.



**Figura 6.** Nas rampas erosionais da Província Patamarizada: Neossolo Regolítico — fase erodida (A) e o Neossolo Litólico (B).

Nas rampas coluvionares da Província Patamarizada, os Nitossolos Vermelhos com caráter férrico são os protagonistas da paisagem. Podem ocorrer associados aos Luvisolos Crômicos (TC) e Luvisolos Ebânicos (TE) e, ainda, com menores possibilidades aos LVs, todos com caráter férrico. Salienta-se que os TEs se encontram no fundo dos vales, enquanto os TCs têm maior distribuição nas porções superiores das paisagens (Figuras 7A e 7B).



**Figura 7.** Nas rampas coluvionares da Província Patamarizada: Luvisolo Crômico apresenta cores mais vermelhas (A) e o Luvisolo Ebânico (B), cores mais escuras.

O posicionamento dos TEs legitima a necessidade de áreas expressivas à montante, ocupadas por solos rasos cascalhentos e pedregosos, em acelerado processo de “rejuvenescimento iônico da paisagem”. Para as rampas coluvionares ocorre o transporte de manganês, incorrendo em “peds” fortemente revestidos por filmes de argila com grande quantidade de óxidos de manganês (mangans), o que lhes confere valores e cromas mais baixos — cores mais escuras.

Mesmo com textura argilosa a muito argilosa, as espessuras intermediárias dos Nitossolos e Luvisolos determinam menor potencial de recarga hidrológica desses em relação aos LVs da província convexada (vide artigo *Potencial de recarga hidrológica em duas pedossequências da Bacia Hidrográfica Paraná III*). Todavia, são os volumes que mais favorecem o processo de recarga hidrológica na Província Patamarizada, pois os Neossolos Regolíticos e Litólicos pouco privilegiam essa dinâmica, dada à pequena espessura e à elevada presença de fragmentos de rocha, minorizada ainda mais pela ocorrência da “fase erodida” e relevos muito íngremes.

Nas planícies instituídas sobre rochas eruptivas, independentes da província, prevalecem os solos derivados de sedimentos fluviais com o predomínio da fração argila sobre as demais — silte e areia. Em determinadas porções da paisagem, especialmente nas cabeceiras de drenagem, é comum observar solos hidromórficos — Organossolos e Gleissolos, soterrados por “dejeções coluvionares” originárias dos processos erosivos.

Dentre vários, dois volumes que ganham destaque nas planícies dos rios são os Gleissolos Hápticos e os Cambissolos Flúvicos (Figuras 8A e 8B), respectivamente, com regime hidromórfico e não hidromórfico,

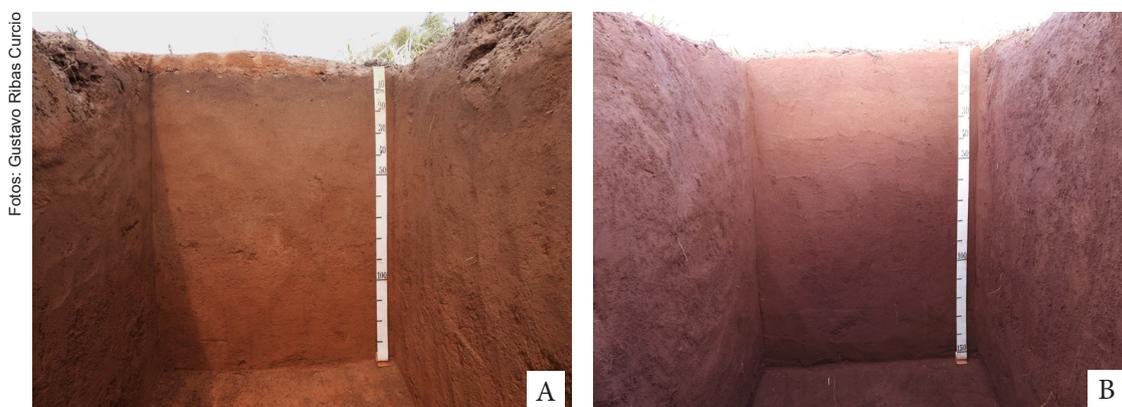
condição que dá suporte às diferentes tipologias florestais (vide artigo *Vegetação fluvial na região Cascavel – Guaíra*) — hidrófilas e mesófilas (Kozlowski, 1984; Curcio, 2006), com funcionalidades ecológicas que guardam forte complementariedade.



**Figura 8.** Nas Planícies Fluviais: Gleissolo Háplico (A) e o Cambissolo Flúvico (B).

### Solos desenvolvidos em arenito

Nas conformações suaves dos relevos derivados de arenito verifica-se apenas uma província — Convexada. O fato é sustentado pela baixa resistência ao intemperismo da rocha, a qual possui óxidos e argilo-minerais e calcretes como agentes cimentantes (Fernandes et al., 1994). Nessa província verifica-se o predomínio absoluto de Argissolos Vermelhos (PV) e (LV), ambos distróficos e com textura média (Figuras 9A e 9B), com ocorrência das duas classes de solos nos terços superior e médio das encostas, além das porções superiores do terço inferior.



**Figura 9.** Solos desenvolvidos em arenito: Argissolo Vermelho (A) e Latossolo Vermelho (B).

No terço inferior de encosta, sobretudo ao seu final, ocorrem outros tipos de Argissolos como Vermelho-Amarelos, Amarelos e Acinzentados (Figuras 10A, 10B e 10C), todos com textura binária arenosa/média, os quais, em razão dos diferentes graus de umidade, retratam a ocorrência de diferentes formas de óxidos de ferro — hematita, goetita, lepidocrocita, ferridrita ou mesmo a sua ausência (Kampf et al., 2012). Esses três Argissolos, frequentemente, são identificados com o caráter arênico ou espessarênico, atributos que minimizam o potencial de uso, além de acentuarem os riscos a remotes erosivos de grandes proporções, corroborando para exponenciar o quadro de fragilidade ambiental nas paisagens do Arenito Caiuá.

A presença dos Plintossolos com os caracteres arênico e argilúvico reforçam o quadro de atenção aos terços inferiores das encostas, sob pena de exponenciar ainda mais os processos erosivos.

Nas planícies encontram-se vários tipos de solos em regimes hídricos distintos, com destaque para os Neossolos Flúvicos (RY) e Neossolos Quartzarênicos (RQ), ambos extremamente frágeis, sobretudo, frente



Fotos: Gustavo Ribas Curcio

**Figura 10.** Solos com diferentes graus de umidade desenvolvidos em arenito: Argissolo Vermelho-Amarelo (A); Argissolo Amarelo (B); Argissolo Acinzentado (C).

aos atuais níveis de descargas hidrológicas concentradas (Figuras 11A e 11B). O elevado grau de soterramento atual das planícies, originado pelos processos erosivos em solos de encosta, incorre na presença de Depósitos Psamíticos (Figura 11C) em diferentes posicionamentos da planície. Esse último volume possui camadas de soterramento com 50 cm ou mais de espessura, a partir da superfície, sobre o horizonte A soterrado.



Fotos: Gustavo Ribas Curcio

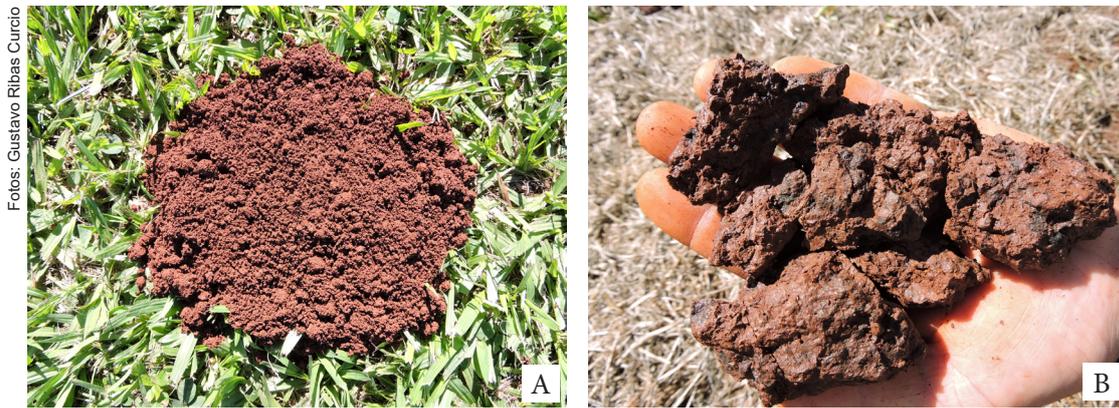
**Figura 11.** Solos de planície: Neossolo Flúvico (A); Neossolo Quartzarênico (B); e Depósito Psamítico (C).

As sobreposições de sedimentos são de natureza diversa, tendo-se o registro de leques essencialmente coluvionares, assim como depósitos de origem fluvial — grande maioria. O soterramento do horizonte A, independente da espessura, prejudica o desenvolvimento e a permanência da floresta fluvial, comprometendo funções ecológicas dessa fitotipia. É muito comum o registro de mortalidade total da floresta na planície por conta do processo de soterramento da calha fluvial, o qual estabelece a ascensão plena do freático tornando o meio totalmente anóxico (vide artigo *Vegetação fluvial na região Cascavel – Guaira*).

### Atributos morfológicos e químicos dos solos desenvolvidos sobre rochas eruptivas

Morfologicamente, embora os Latossolos e os Nitossolos apresentem cores avermelhadas similares, possuem atributos distintos, especialmente, em subsuperfície. Os primeiros exibem estrutura forte granular nos horizontes subsuperficiais Bw, enquanto os Nitossolos manifestam estrutura forte em blocos angulares e subangulares, diferença magnificada pela presença de cerosidade forte e abundante nos horizontes subsuperficiais Bt (Figuras 12A e 12B).

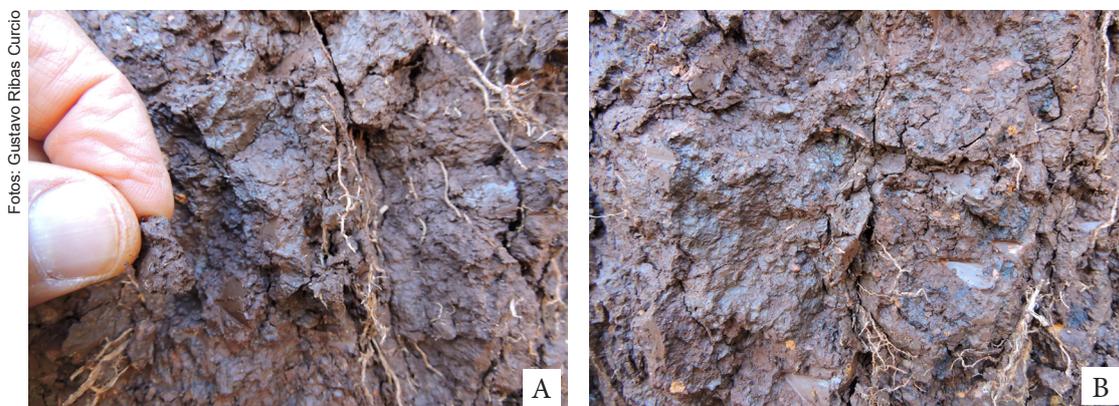
Vale ressaltar que os Latossolos Vermelhos da BHP III, situados em altitudes superiores a 600 m, possuem maior desenvolvimento da estrutura granular em subsuperfície que aqueles situados em menores altitudes, fato constatado em análise morfológica de perfis, além da nítida percepção em tradagens, em função do menor esforço do operador. Os maiores teores de carbono (Tabela 3) e características mineralógicas da fração argila (vide artigo *Mineralogia da fração argila e suas relações com o comportamento dos solos da 1ª RCCSVF*) justificam as diferenças estruturais. Esses elementos de composição incorrem em diferenças essenciais ao manejo, a exemplo, infiltração e armazenamento hidrológico e ações subsequentes.



**Figura 12.** Diferenças entre Latossolo com estrutura forte granular em horizonte Bw (A) e Nitossolo com estrutura forte blocos angulares e subangulares e cerosidade forte abundante em horizonte Bt (B).

Quanto às características do complexo sortivo, distinções importantes são registradas em horizontes de subsuperfície das referidas classes de solos. A maioria dos Nitossolos Vermelhos são eutróficos, enquanto os Latossolos Vermelhos podem ser distróficos ou eutróficos (Tabela 1). O caráter distrófico predomina em paisagens acima de 600 m de altitude, enquanto os eutróficos prevalecem abaixo de 450 m.

Por sua vez, estruturalmente em subsuperfície, os Luvisolos Crômicos são muito semelhantes aos Nitossolos Vermelhos, contudo detêm maiores valores de atividade de argila ( $\geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila), maior CTC e elevada saturação por bases (Santos et al., 2018). Quanto ao complexo sortivo, os Luvisolos Ebânicos (solo sem registro no Paraná até esse momento) apresentam semelhança aos Crômicos, contudo suas cores negras (Figura 13A) determinadas pela presença dos mangans (cutans de manganês) e suas estruturas de preenchimento constituem elementos de elevada notoriedade diferencial (Figura 13B).



**Figura 13.** Luvisolos Ebânicos com cutans de manganês — mangans (A) e com estruturas de preenchimento (B).

Grande parte dos Neossolos Regolíticos e Litólicos, volumes típicos das rampas erosionais da Província Patamarizada assente sobre rochas eruptivas, perderam as características morfológicas originais — cor e estrutura - em função dos elevados níveis erosionais que assolam essas classes — fase erodida (Figura 14A). Nesses solos é comum a identificação do horizonte C ou Cr na superfície, levemente escurecidos pelo efeito da matéria orgânica proveniente das pastagens ou, ainda, originária das florestas que se encontram em grande parte na fase regenerativa.

O acelerado processo de intemperismo a que esses solos estão submetidos promove o “rejuvenescimento iônico das paisagens”, mediante dissociação mineralógica das rochas vulcânicas, determinando o caráter eutrófico para ambas as classes. Contudo, a pequena espessura e a elevada presença de fragmentos de rochas, expressas predominantemente nas frações cascalho e pedregosidade (modal em torno de 50% a 75% do volume) (Figura 14B), associados a relevos muito movimentados — forte ondulado e montanhoso — determinam elevada fragilidade ambiental.



**Figura 14.** Área de ocorrência de Neossolo Regolítico (A); e Neossolo Regolítico com frações cascalho e pedregosidade elevada (B), ambos fase erodida.

Sob o ponto de vista hidrológico, tendo em vista todas as características mencionadas, sobre os Neossolos Regolíticos e N. Litólicos ocorrem deflúvios muito elevados, pouco favorecendo a recarga de mananciais no longo prazo, motivo pelo qual grande parte dos rios de primeira ordem da Província Patamarizada encontra-se atualmente na categoria de temporário — intermitente ou efêmero, condição que incorre em preocupação pela crescente importância da insegurança hídrica no contexto atual (vide artigo *Potencial de recarga hidrológica em duas pedossequências da Bacia Hidrográfica Paraná III*).

### Atributos morfológicos e químicos dos solos desenvolvidos sobre arenito

As duas classes de solos com maior distribuição nas encostas são os Latossolos Vermelhos e os Argissolos Vermelhos (Figuras 9A e 9B). Ambos possuem baixos teores de argila no horizonte A, embora os Argissolos possuam os menores, predominantemente na classe “areia”, enquanto os Latossolos, em sua grande maioria, em “areia franca”.

Apesar dessa diferença textural, em ambos os solos predominam estruturas do tipo grão simples no horizonte superficial — o que lhes determina elevada fragilidade (Figura 15A), situação decorrente também dos valores irrisórios de matéria orgânica, consequência, inclusive, de manejos agrícolas inconsistentes. Esse conjunto de condições determina alta suscetibilidade à erosão a estes volumes, sobretudo aos Argissolos, em razão dos acréscimos acentuados da fração argila em profundidade — horizonte B textural (Bt). Tanto os Argissolos como os Latossolos revelam estruturas um pouco mais desenvolvidas em profundidade, mas, ainda assim, fracas nas classes texturais “franco-arenosa” e “franco-argilo-arenosa” (Figura 15B).

O caráter distrófico — baixa saturação por bases — nos horizontes subsuperficiais é uma herança relictiva do material de origem e majoritário para ambos os solos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) em nada diferem dos Argissolos Vermelhos no que se refere à textura, estrutura e trofia (Figura 15B). No entanto, em razão do posicionamento em terço inferior de



**Figura 15.** Argissolo Vermelho textura arenosa/média, com estrutura do tipo grão simples no horizonte Ap (lado esquerdo da foto) e estrutura fraca pequena e média blocos em horizonte Bt (lado direito da foto) (A) e Argissolo Vermelho-Amarelo espessarenico textura arenosa/média (B).

rampa é comum se deparar com a presença dos caracteres arênico e espessarênico, respectivamente, com o horizonte Bt entre 50 e 100 cm de profundidade e abaixo de 100 cm de profundidade, ambos os caracteres exponenciando a erodibilidade, pois, nesses casos, acima do horizonte Bt há forte predomínio da textura areia.

## Resultados do ataque sulfúrico

Os teores de óxidos dos solos extraídos pelo ataque sulfúrico (Donagema et al., 2011) é uma importante ferramenta para interpretar o grau de intemperismo dos solos, com reflexos na sua CTC, reserva de nutrientes, sorção de ânions e até mesmo na sua morfologia (Curi et al., 1988; Resende et al., 2011; Rezende et al., 2022). Para alguns casos, auxiliam na distinção de rochas de que os solos derivam, como exemplo, se ácidas (maior que 66% em sílica), intermediária (entre 66 e 52%), básicas (entre 52 e 45% em sílica), ou ultrabásicas (menor que 45%). Por este motivo, o caráter férrico é atributo distintivo em nível de Grande Grupo no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

Com o intuito de checar a natureza das rochas eruptivas — básicas, intermediárias e ácidas — foram selecionados oito perfis de Latossolos Vermelhos da Bacia Hidrográfica Paraná III para serem submetidos ao ataque sulfúrico, processo descrito em Donagema et al. (2011). Complementarmente, para demonstrar a forte sensibilidade analítica do ataque sulfúrico para distinguir heranças litotípicas, foi adicionado um perfil de Latossolo Vermelho derivado de arenito.

Em coerência com os resultados apresentados na Tabela 2, verifica-se que a maioria dos Latossolos Vermelhos são derivados de rochas eruptivas básicas, conseqüentemente, com teores  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  acima de  $18 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  pelo ataque sulfúrico.

Ainda na citada tabela, os perfis de solos derivados do pacote vulcânico — nº 4 e nº 26 — apresentaram teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ligeiramente abaixo do limite inferior estipulado para o caráter férrico da classe ( $18 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), situação que aponta para derivação de rochas com caráter intermediário.

O perfil nº 46, Latossolo Vermelho desenvolvido a partir do Arenito Caiuá, apresentou teores mais baixos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , caráter mesoférrico, muito próximo do limite para hipoférrico, fato predominante nas paisagens desenvolvidas sobre essa litoestratigrafia (Embrapa, 1984). Essa condição determina baixo potencial para sorção de ânions.

**Tabela 2.** Valores de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e das relações moleculares Ki e Kr em horizontes Bw2 de Latossolos Vermelhos derivados de rochas eruptivas e de arenito, em diferentes altimetrias na Bacia Hidrográfica Paraná III e parte da Bacia Hidrográfica Piquiri.

Nº perfil	Geologia	Altimetria (m)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	Ki*	Kr*
16	eruptivas	745	18,6	1,0	0,7
21	eruptivas	660	19,8	1,8	1,2
4	eruptivas	540	15,3	1,7	1,2
64	eruptivas	520	24,6	1,3	0,7
59	eruptivas	495	24,1	1,3	0,7
26	eruptivas	445	16,1	1,9	1,3
15	eruptivas	370	19,5	1,9	1,2
69	eruptivas	334	24,8	2,0	1,1
46	arenito	375	8,4	2,5	1,8

(\*)  $\text{Ki} = (\% \text{SiO}_2 \times 1,7) / \% \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Kr} = (\% \text{SiO}_2 \times 0,6) / [(\% \text{Al}_2\text{O}_3 / 1,02) + (\% \text{Fe}_2\text{O}_3 / 1,6)]$ .

Todos os valores de Ki e Kr dos Latossolos regionais apontam para uma mineralogia caulínica, apesar da expressiva participação dos óxidos de ferro (principalmente hematita). Os valores de Ki são menores nas altitudes maiores, indicando uma maior participação da gibbsita na fração argila, conforme comprovam os dados das difrações de raios-X (vide artigo *Mineralogia da fração argila e suas relações com o comportamento dos solos da 1ª RCCSVF*).

## Relações entre Latossolos Vermelhos em condição de topo de paisagem e classes altimétricas

Todos os resultados analíticos das amostras de Latossolos Vermelhos (horizontes superficiais e subsuperficiais) provenientes de rochas eruptivas na Bacia Hidrográfica Paraná III possuem textura muito argilosa, confirmando os resultados obtidos pela Embrapa (1984).

Em coerência com a variação altitudinal (seis classes altimétricas), diferenças importantes foram registradas nos teores de carbono orgânico do horizonte superficial de Latossolos Vermelhos situados no topo de paisagem, conseqüentemente, onde o processo erosivo tem a menor influência possível sobre as respectivas espessuras (Tabela 3).

**Tabela 3.** Classes altimétricas, número de amostras, teor médio de carbono e espessura média em horizonte A de Latossolos Vermelhos férricos da BHP III e parte da BHP.

Classe altimétrica (m)	Amostra (n°)	Teor médio de carbono horizonte A (g kg <sup>-1</sup> )	Espessura média de horizonte A (cm)
799–700	4	22,7	39
699–600	5	19,7	30
599–500	4	16,7	27
499–400	8	14,5	24
399–300	7	14,9	22
299–200	8	14,8	21

Na Tabela 3, fica evidente a diminuição do teor médio de carbono do horizonte superficial dos Latossolos Vermelhos férricos em coerência com o decréscimo das classes altimétricas, demonstrando o efeito de altitude e as respectivas variações de temperatura (vide artigo *Caracterização climática da Bacia Hidrográfica Paraná III - BHP III e parte da Bacia Hidrográfica Piquiri – BHP*). A perda de carbono do horizonte superficial já é apontada há muito tempo como um dos fatores essenciais à menor produtividade das culturas (Dedecek, 1987; Verity; Anderson, 1990).

Como os manejos identificados para os solos derivados de rochas eruptivas são praticamente idênticos, a diferença de 7,9 g kg<sup>-1</sup> do teor de C orgânico significa que, nos Latossolos Vermelhos férricos pertencentes à classe altimétrica mais baixa (e com as maiores temperaturas), há maior perda de carbono por oxidação no horizonte superficial. A diferença no teor de C orgânico correspondente a 1/3 do que está imobilizado no mesmo solo em classe altimétrica mais elevada, ou seja; uma diferença de 1,31 g kg<sup>-1</sup> a cada 100 m. As discrepâncias nos teores de carbono são acompanhadas pelas espessuras dos horizontes superficiais, resultando em diferença de 18 cm, equivalente a 3 cm a cada 100 m. As mesmas discrepâncias são observadas na espessura do horizonte superficial, e sua influência nas produtividades das culturas é bem conhecida (Albuquerque et al., 1996; Albuquerque; Reinert, 2001). Os resultados demonstram a necessidade de manejos diferenciados para as lavouras considerando o componente altimétrico. Os sistemas produtivos, além de considerarem os tipos de solos e sua ocupação na paisagem, devem regular os teores de C e a espessura do horizonte A em consonância com a classe altimétrica da paisagem, para que possam manter níveis elevados de produtividade, sobretudo sustentáveis, atenção que aumenta especialmente em solos de classes altimétricas mais baixas.

## Horizontes superficiais de Latossolos Vermelhos com caráter férrico sob uso agrícola e solo sob floresta

Três locais com cobertura florestal foram prospectados nos topos de paisagens ocupados por Latossolos Vermelhos férricos em classes altimétricas diferenciadas, com o intuito de comparar os teores de carbono dos horizontes superficiais com os que se encontram sob uso agrícola (Tabela 4). Os fragmentos florestais, embora pequenos, não contíguos e alterados, continham espécies arbóreas de grande porte, fato que atesta o estado remanescente da cobertura, ou seja, área onde não foram efetuados cultivos agrícolas.

Para a comparação, foram selecionados perfis de LV férrico com cobertura florestal em altitudes similares aos perfis de LV férricos sob uso agrícola (para cada perfil sob cobertura florestal há três perfis sob uso agrícola). Os resultados se mostraram intrigantes, com diferenças que evidenciaram a influência do histórico de uso agrícola nas características dos solos.

**Tabela 4.** Variações dos teores de C orgânico e espessura de horizonte A em Latossolos Vermelhos férricos textura muito argilosa, posicionados em terços superiores de encosta em três classes altimétricas distintas da Bacia Hidrográfica Paraná III.

Altitude (m)	800–700		500–400		300–200	
	floresta	agricultura	floresta	agricultura	floresta	agricultura
Ocupação	floresta	agricultura	floresta	agricultura	floresta	agricultura
Solo	LV férrico					
Textura	m. argilosa					
Carb. hor. A (g kg <sup>-1</sup> )	19,8	23,6	13,1	14,7	11,9	15,2
Espessura horiz. A (cm)	49	35	31	23	33	19

Em todas as classes altimétricas, os LVs sob uso agrícola apresentam nitidamente subtraída espessura do horizonte A quando comparados àqueles com cobertura florestal, embora os teores de carbono sempre sejam maiores.

A despeito do posicionamento de topo dos LVs, que são locais com baixa sujeição à erosão, pode-se hipotetizar que as perdas em espessura decorram do processo erosivo e de compactação que ocorreu ao longo desses últimos “70 anos” de cultivo agrícola (Guil, 2018). As perdas em espessura do horizonte A alcançam valores próximos de 30, 25 e 40%, respectivamente, para os pisos altimétricos 800–700 m, 500–400 m e 300–200 m, todos valores muito comprometedores, considerando o pequeno tempo de uso em que o processo ocorreu.

Ao mesmo tempo, considera-se que os maiores teores de carbono dos solos sob uso agrícola relativamente aos de floresta (Tabela 4) resultem da grande adesão ao plantio na palha, na região, sistema que favorece a ampliação de carbono no solo (Corbeels et al., 2006).

As diferenças reforçam a necessidade de que as práticas de manejo considerem também as particularidades ambientais, aqui muito influenciadas por nuances climáticas em função de variações das classes de altitude dos solos.

## Considerações finais

O conhecimento sobre os diferentes tipos de solos, suas características e suas distribuições — de forma rigorosa — na paisagem, é uma etapa importante para torná-los os grandes estratificadores ambientais. Contudo, é imprescindível que esse conhecimento esteja contextualizado dentro de uma configuração pedossequencial, pois só assim é possível predizer quais as funcionalidades ecológicas que cada volume executa suas intensidades e como variam na perspectiva precedente (a montante) e subsequente (a jusante). Dessa maneira, é possível estabelecer relações robustas entre potencialidades/fragilidades das diferentes unidades de paisagem, alcançando, assim, formas de usos sustentáveis.

## Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 151-157, 1996.

ALBUQUERQUE J. A.; REINERT, P. J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 539-549, 2001.

CAMPOS, M.; ANTONANGELO, J. A.; ALLEONI, L. R. F. Phosphorus sorption index in humid tropical soils. **Soil & Tillage Research**, v. 156, p. 110-118, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.020>.

CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; CARDOSO, A.; BERNOUX, M.; DOUZET, J.; SIQUEIRA NETO, M. Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. **Global Change Biology**, v.12, p.1773-1787. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01233.x>

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. Curitiba, 2006. 488 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.

CURI, N.; CAMARGO, O. A. de; GUEDES, C. A. de; SILVEIRA, J. V. Sorção de fósforo em materiais de Latossolos do Brasil Sudeste e Sul. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SBCS, 1988. 425 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 12).

DEDECEK, R. A. Efeitos das perdas e deposições de camadas do solo na produtividade de um Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 323-328, 1987.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de solos do estado do Paraná**. Londrina: Embrapa SNLCS, 1984. 2 v. (EMBRAPA/SNLCS. Boletim de pesquisa, 27; IAPAR. Boletim técnico, 16).

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M.; GESICKI, A. L. D. Argilominerais do Grupo Caiuá. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 2, p. 90-96, 1994.

GUIL, L. F. **Cascavel: a conquista do oeste paranaense**. Curitiba: Arte Editora, 2018. 200 p.

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012. p. 81-145.

KOZŁOWSKI, T. T. Extent, causes, and impacts of flooding. In: KOZŁOWSKI, T. T. **Flooding and plant growth**. Orlando: Academic Press Inc., 1984. p. 1-7

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O magmatismo toleítico da bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; BRITO-NEVES, B. B. (org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 245-263.

MINEROPAR. **Atlas geológico do estado do Paraná**. Curitiba, 2001. CD-ROM.

NARDY, A. J. R. **Geologia e petrologia do vulcanismo mesozóico da região central da Bacia do Paraná**. 1995. 316 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: Editora UFLA, 2011. 206 p.

REZENDE, S. B.; FRANZMEIER, D. P.; RESENDE, M.; MANCINI, M.; CURI, N. Pedogenic processes in a chronosequence of very deeply weathered soils in southeastern Brazil. **Catena**, v. 215, 2022. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.catena.2022.106362>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

VERITY, G. E.; ANDERSON, D. W. Soil erosion effects on soil quality and yield. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 70, p. 471-484, 1990.

VEBRASKAS, M. J.; LINDBO, D. A. Redoximorphic features as related to soil hydrology and hydric soils. In: LYN, E. (ed.). **Hydropedology: synergistic integration of soil science and hydrology**. Amsterdam: Academic Press, 2012. p. 143-172.