



ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS MICROMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF PEDOLOGICAL FEATURES IN NITIC B HORIZONS

Marcel Hideyuki Fumiya¹, Nelson Vicente Lovatto Gasparetto², Cássia Maria Bonifácio³

RESUMO

A gênese dos horizontes B níticos possui diversas origens, como a geoquímica, a estrutural e o rejuvenescimento do solo por cinzas vulcânicas. Esses horizontes, apesar de apresentarem pequeno gradiente textural (<1,5), exibem presença comum de feições pedológicas texturais, características de iluviação. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo desenvolver a análise micromorfológica das feições pedológicas texturais e os processos pedogenéticos, nos horizontes B níticos, estudados em uma topossequência no ribeirão Água do Sete em Marumbi - PR. Pela análise micromorfológica dos horizontes B níticos, foi possível constatar que feições pedológicas de depleção de ferro e/ou manganês estão relacionadas aos locais onde há presença de linhas de pedra, compostas por fragmento de rocha de diabásio. Já feições pedológicas texturais (revestimento e preenchimento denso completo e incompleto) são originadas por translocação da fração argila, apresentando características micromorfológica desse tipo de processo. Contudo, algumas dessas feições pedológicas texturais apresentam-se como produto do esforço físico entre paredes de agregados, classificadas como feição pedológica de estresse. Conforme os resultados, concluiu-se que a análise micromorfológica foi primordial para a identificação dos processos pedogenéticos, permitindo verificar feições pedológicas, encontradas nos horizontes B níticos, apresentam diversas origens (estresse, intemperização e iluviação). Todavia, a maioria das feições não apresentou predominância de feições pedológicas, originadas por estresse (*Lepto-coting*), como principal característica micromorfológica do horizonte B nítico, mas, o destaque foi para as feições características de processos de iluviação, caracterizando a argiluviação como principal processo pedogenético na formação das feições pedológicas presentes nos horizontes B níticos em questão.

Palavras-chave: Feições pedológicas texturais; iluviação; processos pedogenéticos.

Abstract

The genesis of nitic B horizons results from different origins, such as geochemistry, soil structure and soil rejuvenation due to volcanic ash. Despite having low texture gradient (<1,5), lots of these horizons, have in common the presence of illuviation pedological features. Therefore, this study's objective is the micromorphological analysis of the pedological features and the pedogenic processes responsible for their formation in nitic B horizons, studied in a toposequence of the Água do Sete stream in Marumbi, Paraná. From this micromorphological analysis of nitic B horizons, it was possible to corroborate that pedological features of iron and/or manganese depletion, are related to areas where there is the presence of rock lines composed by diabase rock fragments. It is known that these textural pedological characteristics (coating and dense fill complete and incomplete) are caused by the clay fraction translocation, since micromorphological characteristics of this kind. Some of these textured pedological forms are the product of the physical effort between aggregated walls, these being classified as a stress pedological feature. The results, it follows that the micromorphological analysis was decisive for the identification of the pedogenic processes, allowing to verify that the pedological features present in nitic B horizons show different origins (stress, weathering and illuviation). However, most of the features didn't present a predominance of pedological profiles caused by stress (*Lepto-coating*) as the main micromorphological characteristic, but profiles characteristic of illuviation processes, portraying argiluviation as the main pedogenic process in the formation of the pedological features present in nitic B horizons.

Key words: Textural pedological features; illuviation; pedogenetic processes.

Recebido em: 07/04/2018

Aceito em: 15/07/2018

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Email: marcel.hideyuki@gmail.com

² Universidade Estadual de Maringá (UEM). Email: nvlgasparetto@uem.br.

³ Universidade Estadual de Maringá (UEM). Email: cassiabonifacio@hotmail.com

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS**1. INTRODUÇÃO**

Os horizontes B nítico apresentam características morfológicas contrastantes dos solos que possuem diferença textural significativa, como o horizonte Bt. No entanto, em escala micromorfológica exibem tanta expressividade quanto horizontes Bt em relação às feições pedológicas texturais (BENEMA *et al.*, 1970). Assim, existem diversas propostas para explicar a presença de feições pedológicas texturais em escalas microscópicas no horizonte B nítico.

Eswaran (1970), ao realizar na Nicarágua pesquisas micromorfológicas em Nitossolos derivados de rochas básica sob clima tropical úmido, concluiu que a feição pedológica textural é de origem iluvial. Contudo o grau de dispersão de argilas e a presença de pápulas indicam que nas condições ambientais atuais a iluviação não ocorre.

Para Perecin e Campos (1975), as feições pedológicas texturais identificadas em lâminas delgadas de solos derivados do basalto são resultado do processo de iluviação, que preenche os espaços porosos diminuindo a porosidade e transformando a distribuição relativa c/f gefúrica em porfírica fechada.

Creutzberg e Sombroek (1987) analisaram lâminas delgadas de horizonte B nítico, advindas de 15 países diferentes, e, concluíram que não há uma propriedade micromorfológica específica para esses horizontes. Assim, propuseram o termo síndrome nito-argílico, que é um conjunto de propriedades micromorfológicas deste tipo de horizonte.

Os autores supracitados observaram uma propriedade micromorfológica na forma de revestimentos muito fino de ferri-argilãs (<2µm) e fortemente orientado. Sob luz polarizada essas formas aparecem como uma fábrica birrefringente na forma de franja, revestindo os poros, as quais denominaram-se de leptocoating. Para os autores (*op. cit.*), esses revestimentos não são necessariamente resultado de processo eluviação/iluviação, pois a maior parte dos horizontes B níticos não apresentam diferenciação textural expressiva (>1,5m) entre o horizonte A e B.

Desse modo, excluem a possibilidade da iluviação ser o processo pedogenético dominante na formação desse tipo de horizonte, levantando-se a hipótese de que os leptocoating são o resultado da reorganização por estresse do material fino no horizonte e que, combinado com as superfícies de fraqueza do fundo matricial, podem ser considerados os fatores responsáveis pela presença de superfícies lisas e brilhantes (cerosidade), que caracterizam o horizonte B nítico no campo.

Miklos (1993, 1995) e Cooper (1996) analisaram por micromorfologia horizontes B níticos em Botucatu (SP) e Piracicaba (SP), e concluíram que os processos pedogenéticos, responsáveis pelo desenvolvimento desse tipo de horizonte, são o adensamento do solo (coalescência de microagregados e formação de blocos angulares, subangulares e/ou prismática) e o processo de eluviação/iluviação. Sendo assim, o adensamento do solo ocorreu devido à presença pretérita de ambiente mais seco que o atual, no Quaternário. Esse tipo de ambiente propiciou o surgimento de hidromorfia temporária, que provoca a desestabilização das ligações ferro-argila, facilitando a mobilização e redistribuição do ferro e da argila (iluviação), gerando as feições pedológicas texturais ao redor dos poros e nas paredes dos agregados, na forma de revestimento e preenchimentos.

Com base nos estudos sobre processos responsáveis pela gênese dos horizontes B níticos, o objetivo deste estudo foi de identificar possíveis processos pedogenéticos, responsáveis pela formação das feições pedológicas texturais, presentes nos horizontes B níticos derivados da alteração de basaltos e diábasio na bacia do ribeirão Água do Sete, em Marumbi - PR (Figura 1 – A), a partir de interpretações micromorfológicas em lâminas delgadas de solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho utilizou-se a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET *et al.* 1982 a e b), no que se refere ao levantamento bidimensional

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

do sistema pedológico. A primeira etapa realizada para levantamento bidimensional foi à elaboração do perfil topográfico pelo uso do clinômetro, conforme recomendado por Marques *et al.* (2000). Posteriormente foram realizadas sondagens a trado holandês, efetuadas no intervalo de 50 m de distância, observando-se a cor e a textura do solo em intervalos de 10 cm de profundidade e, sondagens intermediárias, se houvesse mudança na cor, textura ou composição dos materiais.

Para as sondagens e escolha de locais para abertura de perfis atentou-se para variação em afloramentos de rocha, principalmente em zonas próximas, onde ocorrem mudanças na composição dos materiais (mobilização), que é um importante fator na compreensão acerca a gênese de Nitossolo abordado. Também foram observados os locais com presença de grandes fragmentos de rocha (linha de pedra) em meio ao horizonte B nítico, que são indicativos de material alóctone.

Para descrição da organização dos horizontes e estrutura dos solos, realizou-se a abertura de seis perfis de solos (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), da alta para baixa vertente, procurando quando possível alcançar a totalidade do horizonte B nítico.

Nos horizontes de solo e linha de pedra identificados foram realizadas descrições morfológicas, de acordo com as orientações de Santos *et al.* (2015). Também foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, num total de 12 amostras.

Em relação às amostras indeformadas, estas foram retiradas em monólitos, direto das paredes dos perfis de solos em caixas de 8x10cm, preservando a estrutura e organização original do material. O preparo dos monólitos com propósito de análise micromorfológica seguiu ao exposto em Castro (2002).

A interpretação das lâminas delgadas de solo foi realizada a partir da nomenclatura e terminologia contidas em Bullock *et al.* (1985), Stoops e Jongerius (1975). Para análise de algumas feições pedológica e composição química, utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura

(MEV), acoplado com um sistema de detectores de Energia Dispersiva de Raio-X (Energy Dispersive X-ray Spectrometer – EDS).

A determinação granulométrica da argila e silte e o grau de flocculação e dispersão em água foram executados pelo método da pipetagem, e a determinação da areia pelo peneiramento (EMBRAPA, 1997). A classificação de solos foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Para análise da composição mineral utilizou-se a fração argila dos horizontes B níticos e, empregou-se o método Ditionito-Citrato-Bicabornato (DCB), conforme descrito por Mehra e Jackson (1960). Os difratogramas de raio-X (DRX) foram obtidos em lâminas orientadas com saturação de Magnésio (Mg), Magnésio+Etileno Glicol (Mg-Glicol), Potássio (K 25°C) e Potássio aquecido a 500°C (K-500 °C). Aplicou-se radiação CuK α em intervalo de 4 a 60° 2 θ , velocidade de 1° min em leitura de 2 θ .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Organização dos horizontes e interpretação micromorfológica

A vertente analisada localiza-se na cabeceira de drenagem do ribeirão Água do Sete, em Marumbi – PR (Figura 1 – A, na sequência). Apresenta comprimento de 730m e 37,24 m de desnível, com declividade variando entre 3 a 45%, com presença de duas classes de solos (EMBRAPA, 2008): os Nitossolos (NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico), que são predominantes e Cambissolos (CAMBISSOLO VERMELO Eutroférico). Esta vertente apresenta mudanças na morfologia (patamares estruturais) devido à presença de afloramento de rochas ao longo da encosta que influenciam o fluxo superficial, subsuperficial e, conseqüentemente, na evolução dos solos (favorecendo locais de acumulação ou erosão).

Os Nitossolos ali presentes, apresentam diferentes espessuras e grau de desenvolvimento, dependendo do local onde está presente na vertente (Figura 1 - B). Adiante será exposta a descrição sobre organização do sistema pedológico, presentes em três segmentos da

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

vertente: superior, médio e inferior, onde cada setor apresenta características que diferem entre si (forma da vertente, afloramentos de rocha,

espessura do solo) e as características dos materiais.

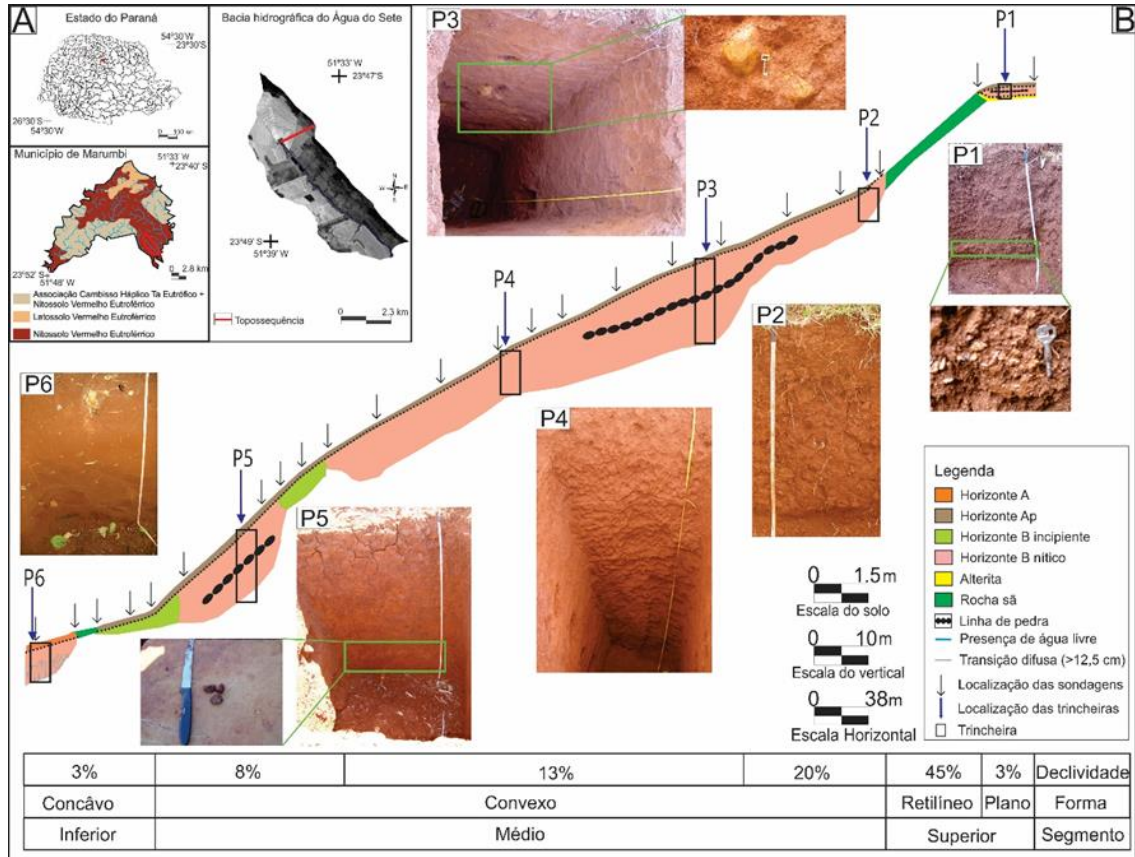


Figura 1 - Topossequência analisada. (A) Localização da bacia hidrográfica Água do Sete; (B) Ilustração representativa da topossequência e solos analisados. Fonte: elaborada pelo autor, com dados da pesquisa e dados da EMBRAPA (2008) e IBGE (2005).

No segmento superior da vertente (topo) a forma é plana, com presença de Nitossolo (P1) com 4 m de extensão e 1m de espessura, apresenta horizonte B nítico com presença de linha de pedra (45-55 cm), composta por calcedônia de origem geoquímica (permanência de minerais mais resistentes ao intemperismo químico). Este solo desaparece com o surgimento abrupto de afloramento de rocha (dique de diabásio) de 72 m

de extensão e a forma da vertente muda para retilíneo.

Os horizontes Ap e B nítico neste setor apresentam espessura de 80 cm, com textura muito argilosa, cor vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida), relação B/A menor que 1,5 e grau de floculação das argilas acima de 93,22%, enquanto que a estrutura se caracteriza em blocos subangular a angular, cerosidade ausente e presença de fragmentos de rocha (Quadro 1).

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

Quadro 1 - Descrição morfológica e caracterização textural de Nitossolos.

Descrição morfológica												
Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Estrutura ¹			Consistência ²			Transição (A/B)	Cerosidade ³	Poros ⁴	Observações ⁵
			Tipo	Tamanho	Desenvolvimento	Seca	Úmida	Molhada				
P1	Ap	0-10	Bsa	G	Fo	D	Fr	Lp	Difuso	Ausente	Fs, Cv	Fra, C
P1	B nítico	10-80	Bsa	G	Fo	D	Fr	Lpe		Ausente	Fs, Cv	Fra, C
P2	Ap	0-35	Bsa	M	Fc	D	Fr	Lpe	Gradual	Ausente	Fs, Cv	Fra
P2	B nítico	35-90	Bsa	G	Fo	D	Fr	Lpe		Fo, Ab	Fs, Cv	Fra, C
P3	Ap	0-43	Bsa/Ba	G	Fo	D	Fr	Lpe	Difuso	Fo, Ab	Fs, Ab	Fra
P3	B nítico	43-110	Bsa/Ban	M	Fo	D	Fr	Lpe		Md, Co	Fs, Cv	Fra
P4	Ap	0-20	Bsa/Ba	M	Fo	D	Fr	Lpe	Difuso	Fo, Ab	Fs, Cv	Fra
P4	B nítico	20-127	Bsa/Ban	M	Fo	D	Fr	Lpe		Fo, Ab	Fs, Cv	Fra
P5	Ap	0-30	Bsa/Ba	G	Fo	D	Fr	Lpe	Difuso	Fc, Co	Fs, Cv	Fra
P5	B nítico	30-130	Bsa/Ban	G	Fo/Md	D	Fr	Lpe		Fo, Ab	Fs, Cv	-
P6	A	0-10	ausente	-	-	Ld	Fr	Lpe	Difuso	Ausente	Fs, Cv	Fra
P6	B nítico	20-120	Bsa	P	Fr	Ld	Fr	Lpe		Md, Co	Fs, Cv	-
Análise textural												
Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Granulometria				Textura ⁶	B/A	Cor	Silte/Argila	Argila dispersa (%)	Grau de floculação (%)
			Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)						
P1	Ap	0-10	3,2	4,7	25	67,1	Mto Ar		10R 3/4	0,37	4,55	93,22
P1	B nítico	10-80	0,7	1,1	25	73,2	Mto Ar	1,07	10R 3/4	0,34	3,45	94,88
P2	Ap	0-35	1,8	5,1	25	68,1	Mto Ar		2,5YR 3/4	0,36	4,50	93,39
P2	B nítico	35-90	2,1	4,1	28,5	65,3	Mto Ar	1,17	10R 3/4	0,43	1,80	97,80
P3	Ap	0-43	0,5	3,4	19,3	76,8	Mto Ar		10R 3/4	0,25	1,65	98,02
P3	B nítico	43-110	0,8	4,5	17,2	77,5	Mto Ar	1	10R 3/4	0,22	0,60	99,18
P4	Ap	0-20	0,7	2,1	15,1	82,1	Mto Ar		10R3/4	0,18	1,40	98,29
P4	B nítico	20-127	0,5	2,3	10,8	86,4	Mto Ar	1,05	10R 3/4	0,12	0,90	98,96
P5	Ap	0-30	0,8	3,9	26,1	69,2	Mto Ar		10R 3/4	0,37	0,50	99,28
P5	B nítico	30-130	0,3	2,3	15,6	81,9	Mto Ar	1,18	10R 3/4	0,19	0,05	99,93
P6	A	0-20	2,2	3,5	34,5	59,8	Mto Ar		10R 3/2	0,57	3,90	93,48
P6	B nítico	20-120	1,2	2,5	18,7	77,6	Mto Ar	1,22	10R 3/4	0,24	0,70	99,10

¹**Estrutura:** tipo (Bsa – bloco subangular, Ban – bloco angular); tamanho (G – grande, M – médio, P – pequeno); desenvolvimento (Fo – forte, Md – moderado, Fc – fraco).²**Consistência:** seca (D – dura, Ld – ligeiramente dura, Ma – macia); úmida (Fr – friável, F – firme); molhada (Lp – ligeiramente plástica, Lpe – ligeiramente pegajosa).³**Cerosidade:** desenvolvimento (Fc – fraco, Fo – forte, Md – moderado); quantidade (Ab – abundante; Co – comum).⁴**Poros:** tipo (Fs – fissural, Cv – cavitário).⁵**Observações:** Fra – fragmento de rocha alterada, C – Carvão, Lp – linha de pedra.⁶**Textura:** Classe textural (Mto Arg - muito argilosa; Arg - argilosa). Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da pesquisa.

Em escala micromorfológica o horizonte B nítico localizado no setor superior, apresenta feições pedológicas texturais na forma de hiporrevestimentos nas paredes dos agregados, originados por estresse (Figura 2 – A e B), compostos por ferri-argilãs ocasionais (ocupa 4%

da lâmina). A composição mineral, identificada por DRX da fração argila desferrificada foi caulinita, esmectita e quartzo (Quadro 2).

A linha de pedra, em meio ao horizonte B nítico apresenta estrutura homogênea, com presença de grandes fragmentos de minerais

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

primários (5 mm), como calcedônia e quartzo (Figura 2 - C), que compõem a linha de pedra. As feições pedológicas texturais presentes são hiporevestimentos originados por estresse, nas paredes dos agregados (ocupa 12% da lâmina).

Enquanto que a composição mineral identificada por DRX da fração argila desferificada, foi caulinita e quartzo (Quadro 2).

Quadro 2 – Descrição micromorfológica e mineral dos horizontes B níticos.

Atributos	Perfis e horizontes pedológico					
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6
	Horizonte B nítico	Horizonte B nítico	Horizonte B nítico	Horizonte B nítico	Horizonte B nítico	Horizonte B nítico
Material fino (Plasma)	Dominante, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4)	Dominante, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4)	Dominante, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4)	Muito dominante, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4)	Muito dominante, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4)	Muito dominante, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4)
Poros	Fissuras, cavidades intragregados e canais, ocupando 30% do total da lâmina	Fissuras e cavidades, ocupando 20% do total da lâmina	Fissuras, cavidades, mamelonares e policoncâvas, ocupando 20% da lâmina	Fissuras, cavidades, mamelonares e policoncâvas, ocupando 25% total da lâmina	Fissuras e cavidades, mamelonares, ocupando 30% do total da lâmina	Fissuras, cavidade, mamelonares e câmaras, ocupando 20% do total da lâmina
Microestrutura	Blocos subangulares à angulares, moderadamente desenvolvida, parcialmente acomodado	Blocos subangulares à angulares, moderadamente desenvolvida, parcialmente acomodado	Blocos subangulares à angulares, muito grande (>50mm), moderadamente desenvolvida, parcialmente acomodado	Blocos subangulares à angulares, muito grande (>50mm), moderadamente desenvolvida, parcialmente acomodado	Blocos subangulares à angulares, muito grande (>50mm), moderadamente desenvolvida, parcialmente acomodado	Blocos subangulares, grande (50 – 20 mm), moderadamente desenvolvida, parcialmente acomodado
Distribuição c/f	Porfírica aberta fissural	Porfírica aberta	Porfírica aberta	Porfírica aberta	Porfírica aberta	Porfírica aberta
Fábrica birrefringente	salpicada	salpicada e estria (granoestriada)	estria (granoestriada, paralela e cruzada) e indiferenciada	estria (granoestriada, monoestriada e poroestriada), salpicada e indiferenciada	indiferenciada	indiferenciada e salpicada
Feições pedológicas	Textural: hiporevestimento gerado por estresse entre as paredes das microestruturas, não laminado, composto por ferriargilãs; Criptocristalino: nódulo de ferro típico	Textural: revestimento típico crescente, preenchimento denso completo e incompleto, microlaminado, composto por ferriargilãs; Criptocristalino: nódulo de ferro típico	Textural: revestimento típico, crescente e preenchimento denso completo, não laminado, composto por ferriargilãs; Criptocristalino: nódulo de ferro típico	Textural: revestimento típico, preenchimento denso completo e incompleto, não laminado, composto por ferriargilãs	Textural: revestimento típico, hiporevestimento, laminado e não laminado, composto por ferriargilãs; Criptocristalino: nódulo de ferro típico	Textural: revestimento típico, hiporevestimento, preenchimento denso completo e incompleto, laminado e não laminado, composto por ferriargilãs; Criptocristalino: nódulo de ferro típico
Minerais¹ (DRX)	Fração Argila					
	Ct, Esm, Qt	Ct, Esm, Gb, Qt	Ct, Esm, Gb, Qt	Ct, Esm, Gb	Ct, Gb, Qt	Ct, Esm

Minerais¹: Caulinita (Ct), Esmeclita (Esm), Gibsita (Gb), Quartzo (Qt).

Fonte: Elaborada pelo autor, com dados da pesquisa.

No setor médio da vertente a forma torna-se convexa (Figura 1 – B), com uma extensão de 560 m e, ali o Nitossolo (P2, P3, P4 e P5) surge novamente, seguido de um Cambissolo, onde há um ressaltado topográfico. Porém, ao contrário do Nitossolo do segmento superior, este em questão é mais profundo (atinge até 2,2m de espessura) e

é melhor desenvolvido no quesito estrutura e quanto à cerosidade.

Assim como no perfil 1, constatou-se também a presença de linhas de pedra (Perfis 3 e 5). No entanto, estas são compostas por fragmentos de rocha de diabásio (1-50cm), provavelmente advindos da mobilização de

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

materiais ao longo da vertente, tendo como área fonte os afloramentos de rocha presentes na vertente (Figura 1 - B), caracterizados como alóctone na sua origem. Desse modo, a variação do teor de argila entre horizonte Ap e B nítico também indica essa possibilidade (Quadro 1).

No setor médio da vertente a cor do horizonte Ap varia de bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido) no início desse segmento (Perfil 2) e muda para vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida) nos demais setores (Perfis 3, 4, 5). Enquanto que a cor do horizonte B nítico apresenta-se em vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4). Quanto às propriedades físicas de ambos os horizontes (Ap e B nítico) apresentam estrutura em blocos subangulares/angulares-grande/médio/pequeno-fortemente desenvolvidos, cerosidade forte-abundante, consistência dura, friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica e, presença de fragmento de rocha (Quadro 1).

A textura de ambos os horizontes (Ap e B nítico) é muito argilosa e apresenta relação silte/argila baixos ($<0,7$), bem como relação B/A menor que 1,5. O grau de floclação das argilas está acima de 93,22% e o grau de dispersão entre 0,05% a 4,50%, indicando que não existe processo de iluviação ativo (Quadro 1).

Neste segmento da vertente em comparação ao setor de topo, ocorre a mudança do tipo de feição pedológica textural, sendo de origem iluvial (escala micromorfológica). Onde o limite entre feições com paredes de agregados é nítido e apresentam extinções cruzada, há indicativo de deposição ordenada das argilas (empilhamento), característico de processo iluvial (Figura 2 – D, E).

As feições pedológicas presentes no horizonte B nítico são revestimentos típicos, crescentes e preenchimentos, muito abundantes (ocupam de 22% a 26% das lâminas) e, estão em paredes dos agregados e poros cavitário tipo mamelonar (Figura 2 – D, E). Por EDS a composição foi determinada em silício, alumínio e ferro (Figura 3 – A1, A2) indicando ser tipo ferri-argilãs. Já a composição mineral, identificada por DRX da fração argila desferrificada, foi caulinita, esmectita, gibsita e quartzo (Figura 3 – A3; Quadro 2).

Outra característica do segmento médio, que difere do superior, é o material de origem que apresenta-se mobilizado (alóctone). Na escala micromorfológica, caracteriza-se pela presença de linha de pedra composta por fragmentos de rochas alteradas (Figura 2 – F) e isoladas em meio ao horizonte B nítico (Figura 2 – G), que indica transporte do material.

Feições pedológicas presentes na linha de pedra (Perfis 3 e 5) são as texturais e de depleção. As feições texturais são compostas por: revestimentos típicos/crescentes e preenchimentos, ao redor poros cavitário intragregado e nas paredes dos agregados e fragmentos de rochas alteradas, compostos por ferri-argilãs (Figura 2 – H/a). As feições pedológicas de depleção (ferro “ferrãs” e/ou manganês “mangãs”) apresentam-se na forma de hiporrevestimentos (Figura 2 – H/de) sobre os fragmentos de rocha alterada, anisotrópicas em luz natural. A composição mineral identificada por DRX da fração argila desferrificada foi caulinita, esmectita e quartzo (Quadro 2).

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

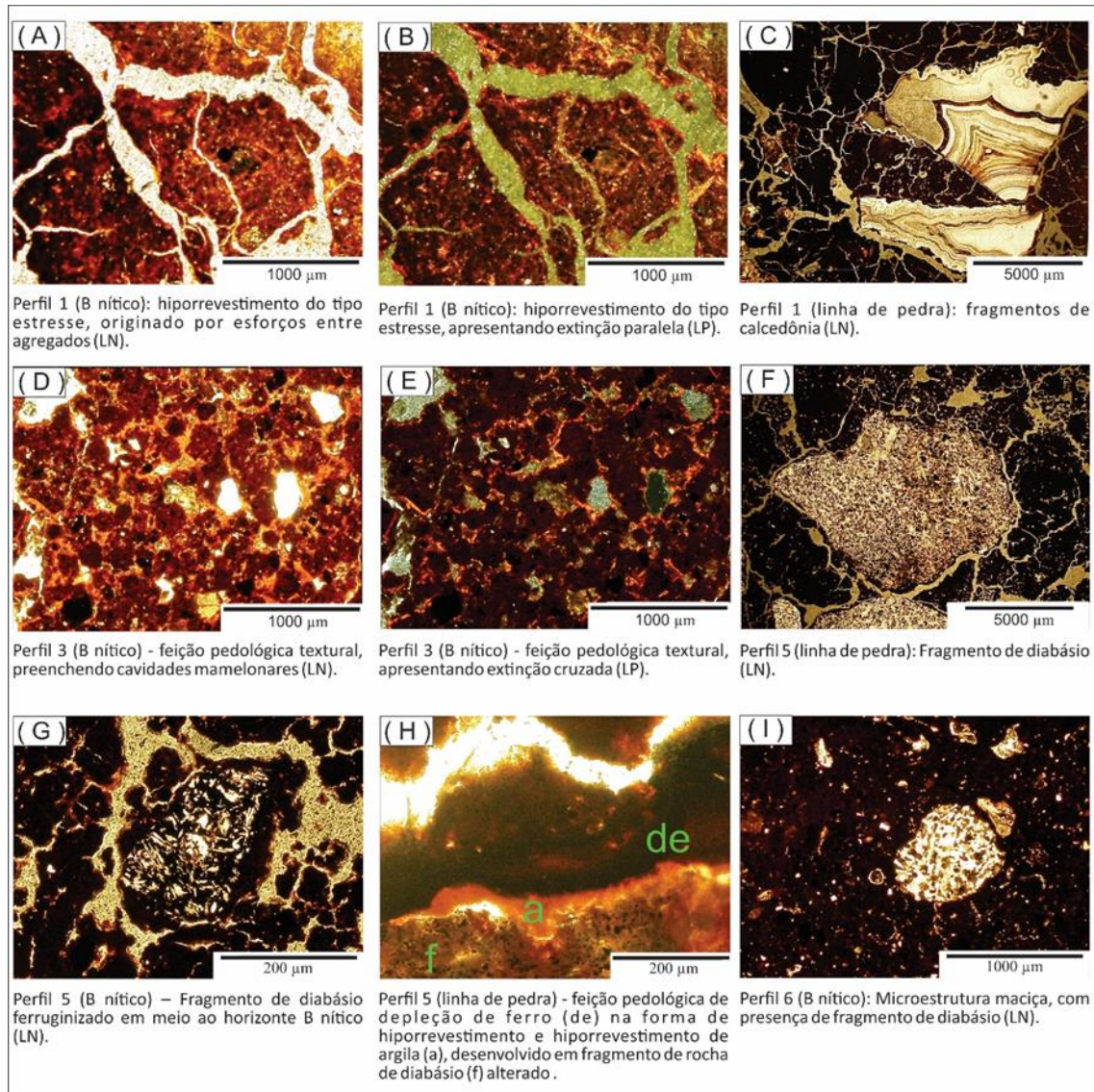


Figura 2 – Microfotografia de horizontes B nítico e linha de pedra. Legenda: Depleção de ferro – de; Argila – a; Fragmento de diabásio – f; LN – luz natural; LP – luz polarizada. Fonte: Elaborada pelo autor, com dados da pesquisa.

O último setor a ser analisado é o segmento inferior da vertente que apresenta forma côncava e extensão de 94m. Esse setor está posicionado no fundo do vale, há um afloramento de rocha seguido de um Nitossolo (Perfil 6), no qual há presença de estagnação de água (62 a 100 cm), sem manifestações de feições hidromórficas (mosqueado ou acinzentado) (Figura 1 – B).

O horizonte superficial deste setor difere do topo e média vertente por não apresentar influência antrópica direta (efeito de maquinários - compactação) e, apresenta-se na forma de

horizonte A, no qual a cor é vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/2), a estrutura é ausente, a cerosidade ausente e ligeiramente dura, friável, ligeiramente pegajosa e plástica, assim como presença de fragmentos de rocha (Quadro 1).

O horizonte B nítico apresenta cor vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4), estrutura em blocos subangulares pequeno-moderadamente desenvolvidos, com cerosidade moderado-comum, consistência dura, friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica, como também fragmentos de rocha além de

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

presença de água livre, que gera uma hidromorfia temporária.

A textura de ambos os horizontes (Ap e B nítico) é muito argilosa e apresenta grau de floculação acima de 93,48%, com grau de dispersão entre 0,70% a 3,90%, além disso, a relação silte/argila é baixa ($<0,24$) e a relação B/A é de 1,22 (Quadro 1).

A análise micromorfológica dos horizontes do Nitossolo em fundo de vale (segmento inferior) demonstra que o horizonte A apresenta microestrutura maciça, com presença de fragmentos de rochas de diabásio (Figura 2 – I) e, provavelmente, a área fonte para tais detritos seja o afloramento rochoso próximo. A granulometria também indica transporte, no qual a quantidade de argila do horizonte A difere do horizonte B nítico (Quadro 1) e caracteriza o material de origem desse horizonte como alóctone.

O horizonte B nítico não aparenta desenvolver de material alóctone, sua microestrutura organiza-se em blocos subangulares a angulares e não há presença de

fragmentos de rocha. As feições pedológicas texturais, presentes neste horizonte, são revestimentos típicos, crescentes e preenchimentos (Figura 3 – B) numerosos (ocupa 8% da lâmina) e, estão em paredes e poros intragregados. Via EDS a composição dos revestimentos foi determinada em silício, alumínio (Figura 3 – B1) indicando ser tipo argilã. Por outro lado, o fundo matricial é composto por silício, alumínio e ferro, indicando ser ferri-argilã (Figura 3 – B2).

A presença de argilã em feições pedológicas texturais pode ser resultado de condições hidromórficas atuantes nesse setor da vertente, que cria condições redutoras, desestabiliza as ligações entre o ferro-argila e permite a translocação desses elementos em horizontes.

A composição mineral dos horizontes (A e B nítico) identificada por DRX da fração argila desferrificada, foi caulinita e esmectita (Figura 3 – B3; Quadro 2).

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

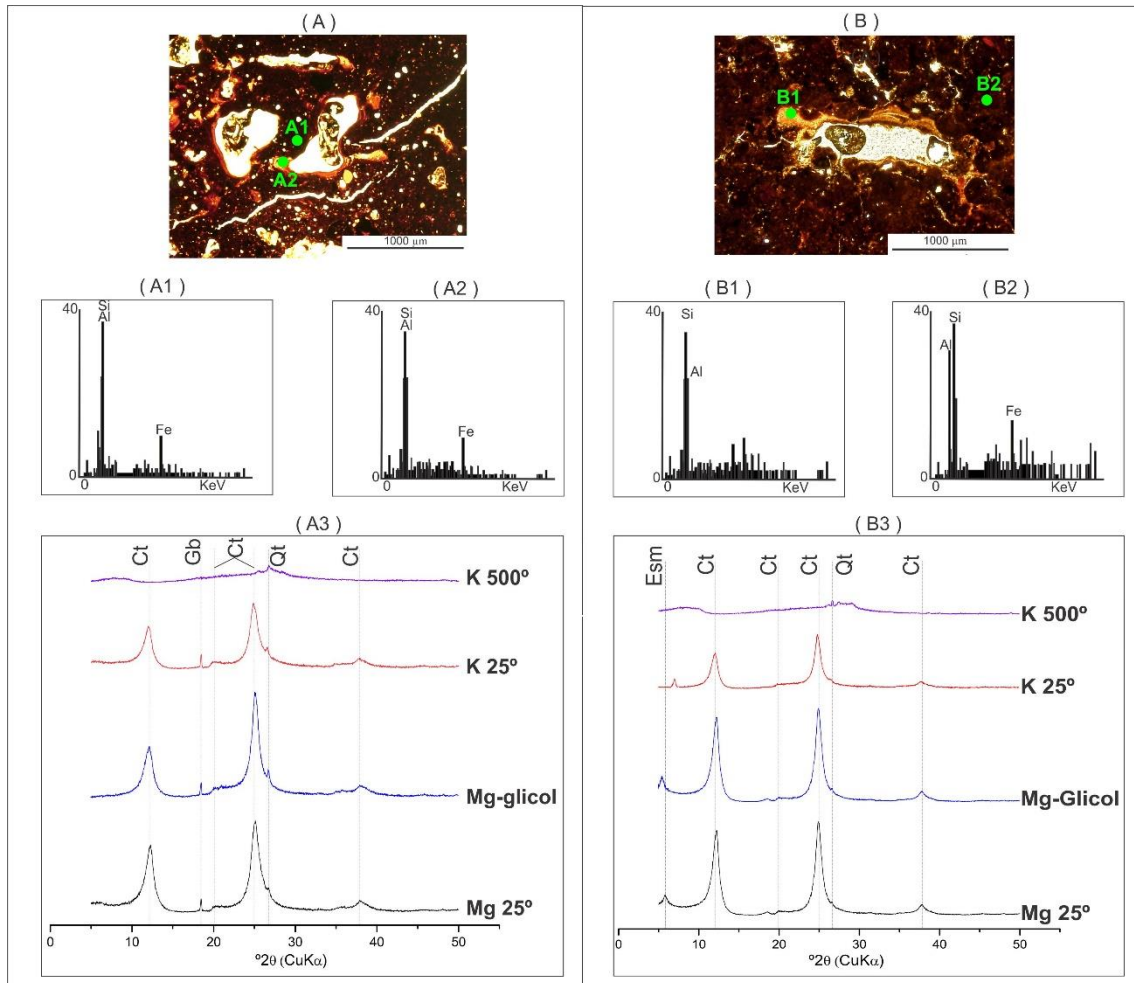


Figura 3 - Análise da composição química e mineral (perfil 2 e 6) por EDS e DRX. **(A)** Fundo matricial (FM) e feições pedológicas texturais (FT) do perfil 2; **(A1)** Silício, ferro e alumínio por EDS do FM; **(A2)** Silício, ferro e alumínio por EDS das FT; **(A3)** DRX da fração argila desferrificada, com predominância de caulinita. **(B)** FM e FT do perfil 6; **(B1)** Silício, ferro e alumínio por EDS do FM; **(B2)** Silício e ferro por EDS das FT, indicando possível desferruginação; **(B3)** DRX da fração argila desferrificada, confirmando a composição predominante por caulinita e pequena presença de esmectita e quartzo. Ct = caulinita, Esm = esmectita e Qt = quartzo.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da pesquisa.

3.2 Síntese das interpretações dos horizontes B níticos e da linha de pedra

Tendo como base o tópico anterior (caracterização macromorfológica e micromorfológica), é possível ter algumas compreensões acerca tipos de linhas de pedra identificadas ao longo da vertente e das feições pedológicas texturais.

As linhas de pedra identificadas na vertente apresentam dois modos de desenvolvimento: *in situ* e alóctone. Linhas de

pedra situadas topo (Perfil 1) apresentam origem *in situ*, sendo produto de resistência ao intemperismo químico composta por minerais de quartzo e calcedônia.

As linhas de pedra localizadas na porção média vertente (Perfis 3 e 5) são compostas por fragmentos de rocha de diabásio (provavelmente advindos dos atuais afloramentos de rocha na vertente), sugerindo que o material de origem no segmento médio (Perfis 3, 4 e 5) foi mobilizado ao longo da vertente. O caráter alóctone dessas

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

linhas de pedra caracteriza-o como um paleopavimento detrítico e, pode estar relacionado a fases mais secas, comparada ao presente, que ocorreram ao longo do Quaternário no Norte do Paraná, como constatado por Jabur (1992), Stevaux (1993; 2000).

Já a análise micromorfológica permitiu identificar três origens para feições pedológicas texturais, duas de origem *in situ* (estresse e depleção) e uma de iluviação e/ou translocação. As feições pedológicas texturais de estresse (hiporrevestimento), presentes no setor de topo (Perfil 1), são originadas pela expansão e contração das microestruturas em blocos nos horizontes B níticos. O processo de expansão e contração também pode produzir as fábricas birrefringentes em estrias (granoestriada - paralela e cruzada). Essas feições são predominantes no horizonte B nítico do perfil 1, provavelmente relacionadas a quantidade de argilomineral 2:1 presentes nesse perfil. Enquanto, nos outros perfis, a ocorrência desse tipo de feição pedológica é rara.

Feições pedológicas de depleção de ferro e/ou manganês (hiporrevestimento) estão relacionadas aos locais onde há presença de linhas de pedra compostas por fragmentos de rocha de diabásio (Perfis 3 e 5), nos quais a intemperização dos minerais primários alteráveis (biotita, piroxênio), liberam o ferro para formação desse tipo de feição pedológica anisotrópica.

Feições pedológicas texturais de iluviação (revestimento e preenchimento denso completo e incompleto) estão presentes nos perfis 2, 3, 4, 5 e 6, e, são originadas pela iluviação/translocação da fração argila, pois apresentam características micromorfológicas desse tipo de processo, como: limite proeminente entre o fundo matricial e os revestimentos ao redor dos poros e paredes das microestruturas, apresentando extinção nítida (indicando argilas de iluviação).

Assim, verifica-se que a análise micromorfológica foi fundamental para a identificação dos processos pedogenéticos presentes na vertente, permitindo constatar que feições pedológicas texturais, encontradas nos horizontes B níticos, tiveram diversas origens

(estresse, intemperização e iluviação). No entanto, a maioria das feições pedológicas não apresentou predominância das originadas por estresse (*Lepto-coting*), como principal característica micromorfológica do horizonte B nítico, como proposto por Creutzberg e Sombroek (1987). De outro modo, apresentaram feições características de processos de iluviação, como preenchimentos densos completos/incompletos, revestimentos típicos e crescentes, caracterizando a argiluviação como principal processo pedogenético na formação das feições pedológicas presentes no horizonte B nítico.

Contudo, a alta porcentagem de flocculação das argilas e a baixa relação textural entre os horizontes A e B (<1,5m) indicam que não há um processo de iluviação ativo nas condições atuais. Desse modo, a presença de linha de pedra, colúvios e a baixa mobilidade das argilas permitem propor que as feições pedológicas texturais foram geradas em condições ambientais diferentes da atual.

Neste caso, a origem das feições pedológicas identificadas neste estudo assemelha-se ao modelo de gênese das feições pedológicas identificadas por Miklós (1995) e Cooper (1996) no estado de São Paulo, nas quais ocorreria no primeiro estágio a transformação estrutural dos microagregados em blocos, pelo processo de adensamento em clima mais seco, o que por sua vez causaria a redução do espaço poroso (transformação da porosidade de empilhamento em cavidades mamelonar/policôncava e fissural). Na segunda etapa, precipitações concentradas em curto período de tempo (característico do clima mais seco) propiciaria o surgimento de hidromorfia temporária, que reduziria o ferro e romperia as ligações ferro-argila desencadeando o processo de argiluviação ou translocação dentro dos horizontes B nítico.

Um exemplo semelhante ao modelo de Miklos (1995) e Cooper (1996) é o observado no final da final da vertente (Perfil 6), que apresenta saturação por água, em que os revestimentos são compostos por argila (argilã) sem presença de ferro detectável pelo EDS (Figura 3 - B1). A

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

saturação somada a atividade microbiana, provavelmente transforma por redução o ferro férrico (Fe^{3+}) em ferroso (Fe^{2+}), propicia a mobilidade do ferro nos horizontes. A consequência desse processo é o desenvolvimento de feições pedológicas de

depleção de ferro (Figura 4 - A), migração de argilas expresso no clareamento do fundo matricial (Figura 4 - B) e a segregação de ferro nas feições pedológicas texturais (Figura 4 - C e D).

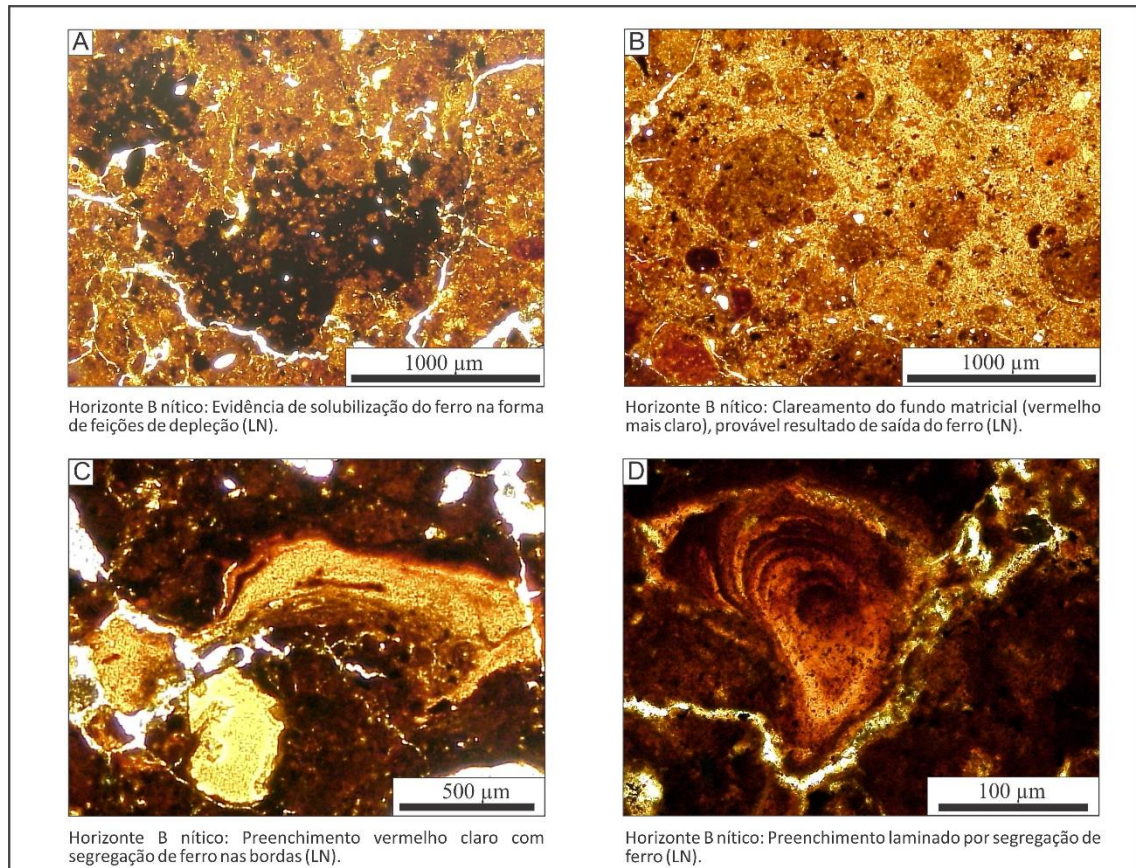


Figura 4 - Feições micromorfológicas de segregação de ferro do perfil 6. Legenda: Luz natural LN).

Fonte: Elaborada pelo autor, com dados da pesquisa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica foi possível identificar e caracterizar o presente sistema pedológico em sucessão lateral de Nitossolo-Cambissolo-Nitossolo, de montante para a jusante, associado a mudanças na topografia da vertente, marcada por patamares estruturais e presença de afloramento de rocha ao longo da vertente.

Também se constatou filiação entre afloramentos rochosos e materiais constituintes das linhas de pedras, indicando a área-fonte e origem alóctone destas, como mostram as

encontradas no setor médio da vertente (Perfis 3 e 5). Enquanto no setor de topo da vertente (Perfil 1), linhas de pedras são *in situ* e compostas por minerais mais resistentes ao intemperismo químico, como calcedônia e quartzo. Tais diferenças permitiram deduzir processos de remoção e deposição de materiais, que influenciaram a formação do sistema pedológico atual.

No que se refere aos segmentos da vertente analisada, verificou-se que o setor de topo apresenta menor comprimento e maior declividade e, que próximos aos afloramentos foram observados solos menos espessos.

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

Já no segmento médio em que estão localizados os perfis 3 e 4, com maior comprimento, há ausência de afloramento de rocha e menor declividade (8-20%), além disso, averiguou-se maior acúmulo de materiais transportados derivados da parte mais alta da vertente (afloramento), favorecendo o desenvolvimento de Nitossolos mais profundos no setor médio da vertente. Uma peculiaridade relacionada à mobilização e mistura do material é a presença de argilominerais do tipo 2:1, incomum a esse tipo de solo. Assim, a presença de fragmentos de rocha alterada em meio aos horizontes B nítico, fornece sílica necessária à formação desse tipo de argilomineral.

Na parte da análise micromorfológica demonstra-se que feições pedológicas texturais possuem limite proeminente entre o fundo matricial e os revestimentos ao redor dos poros, apresentando extinção nítida (indicando orientação das argilas, característica de deposição). Desse modo, as feições pedológicas texturais presentes nos horizontes B níticos não apresentaram predominância de feições originadas por estresse (contração e expansão das estruturas do solo) como proposto por Creutzberg e Sombroek et al. (1987), mas, feições características de processos de iluviação como preenchimentos denso completo, revestimentos típicos e crescentes. Caracterizando, desta forma, o processo de argiluviação e/ou translocação como o principal processo pedogenético responsável pela formação desse tipo de feição nos horizontes B níticos em questão, e que gera a cerosidade, característica morfológica para identificação do Nitossolo em campo.

As condições ambientais propícias para ocorrência do processo de iluviação nos horizontes B níticos abordado e a disposição do material ao quais os atuais Nitossolos se desenvolveram, podem estar relacionados às mudanças climáticas ocorridas ao longo do Quaternário (úmido para seco e vice-versa).

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pelo apoio financeiro (CNPq 473023/2010-5); ao Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA/UEM); aos funcionários do IG/USP; ao Departamento de Ciência de Solo/ESALQ, especialmente aos professores Dr. Miguel Cooper e Antonio Carlos de Azevedo; ao NUPEGEO/ESALQ, na pessoa da professora Dr^a. Célia Regina Montes.

6. REFERÊNCIAS

- BENEMA, J.; JONGERIUS, A. & LEMOS, R.C. Micromorphology of some oxic and argilic horizons in south Brasil in relation to weathering sequences. *Geoderma*, vol.4:333-355, 1970.
- BOULET, R. *et al.* Analyse structurale et pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: lês études de topossequences ET leurs principaux apport à La connaissance dès sols. **Cahiers ORSTOM**, v. 19. n.4, p.309-322, 1982a.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X. & LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie II. Une méthode d'aanalyse prenant em compte l'organisation tridimensionnelle dès couvertures pédologiques. **Cahiers ORSTOM**, v.19, n.4, p.323-339, 1982b.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS G.; TURSINA, T. & BABEL. U. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampto. Waine Reseach Publication. 152 p., 1985.
- CASTRO, S. S. **Micromorfologia bases para descrição de lâminas delgadas**. Campinas: UNICAMP, p.144, 2002.
- CREUTZBERG, D.; SOMBROEK, W. G. Micromorphological characteristics of Nitossols. In: RÉUNION INTERNATIONALE DE MICROMORPHOLOGIE DES SOLS, 7., Paris, 1987. Actes... Paris, 1987, p.151-155.
- COOPER, M. Estratigrafia e pedogênese de uma topossequência de solos com B latossólico e B textural em Piracicaba (SP). 1996. Dissertação – mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, São Paulo.
- EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisas de Solo). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA DE FEIÇÕES PEDOLÓGICAS EM HORIZONTE B NÍTICOS

- EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Carta de solo do estado do Paraná. Folha SF-22-Y-D MIR-496. Escala 1:250.000. 2008.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013, 353p.
- ESWARAN, H. Micromorphological indicators of pedogenesis in some tropical soils derived from basalts from Nicaragua. **Geoderma**, vol.7,p.15-31, 1970.
- IBGE - Malha Municipal Digital 2005. (Disponível em: www.ibge.gov.br, Acessado em: agosto/2019).
- JABUR, I. C. **Análise paleoambiental do Quaternário superior na bacia do alto rio Paraná**. 1992. Tese – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro.
- MARQUES, A. J.; SANTIL, F. L. P.; CUNHA, J. E. O uso do clinômetro no levantamento topográfico. Estudo de caso: levantamento pedológico. **Boletim de Geografia**, Maringá-PR, v.1(1), p.135-141, 2000.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Proceedings Clays & Clay Mineral Conference**, London, vol.7, p.317-327, 1960.
- MIKLOS, A. A. de W.; MIOCQUE, P. Horizontes latossólicos, horizontes sômbrios e “stone-line”: organizações de origem biológica-fauna do solo. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Cerrados: Fronteira Agrícola do Século XXI. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Goiânia (GO), Resumos vol.2, P.327-328, 1993.
- MIKLOS, A.A. de W. **Biodynamique d'une couverture pédologique de la region de Botucatu (São Paulo, Brésil)**. 1995. Tese – École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, France.
- PERECIN, D.; CAMPOS, D. A. F. Evidências micromorfológicas de gênese de solos de Piracicaba. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Campinas. Anais, 1975, p.461-466.
- SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7 ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015, 101p.
- STEVAUX, J. C. **O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentologia e evolução quaternária de seu curso superior**. 1993. USP. Tese – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- STEVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Paraná River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brasil. **Quaternary International**, n. 72, p.73-85, 2000.
- STOOPS, G.; JONGERIU, A. Proposals for a micromorphological classification of soil materials. I. A classification of related distribution of coarse and fine particules. A reply. **Geoderma**, v. 13, n. 19, p.189-200, 1975.