

MACRO E MICROMORFOLOGIA DE FERRICRETES NODULARES DESENVOLVIDOS DE ARENITO DO GRUPO BAURU, FORMAÇÃO ADAMANTINA⁽¹⁾

M. R. COELHO⁽²⁾, P. VIDAL-TORRADO⁽³⁾ & F. S. B. LADEIRA⁽⁴⁾

RESUMO

Nas paisagens do norte do estado de São Paulo, sob domínio do Planalto Ocidental, ferricretes ocorrem em diferentes níveis topográficos e, apesar de pouco documentados, constituem feições que se repetem com frequência sobre os arenitos cretácicos do Grupo Bauru, Formação Adamantina. Realizou-se um estudo morfológico, em diferentes escalas de observação, a fim de elucidar a gênese desses ferricretes (plintita e petroplintita) encontrados no terço inferior de uma vertente dominada por solos com B textural. A área estudada localiza-se na Estação Experimental de Agronomia de Pindorama, do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), região norte do estado de São Paulo. Dois perfis foram selecionados para a descrição morfológica detalhada e para as observações micromorfológicas com lupa binocular e microscópio petrográfico. As evidências macro e micromorfológicas dos ferricretes revelam uma origem associada à lixiviação do ferro ferroso a montante da paisagem e reprecipitação na zona de vadosa. Esses ferricretes apresentaram diferentes fábricas internas, a maioria dos quais com estruturas de degradação, evidenciando o desmantelamento atual da couraça. As diferenças nas fábricas internas estão relacionadas com a distribuição do esqueleto e do plasma: alguns apresentam esqueleto bem selecionado, com predominância de areia muito fina, enquanto em outros predomina a areia média; outros, ainda, mostram esqueleto pouco selecionado, assemelhando-se ao fundo matricial interglebular; a maioria mostra alguns volumes ocupados apenas por plasma. Demonstra-se que fatores pedo-lito-biológicos estão envolvidos nessa diversidade entre ferricretes de um mesmo horizonte, formando *in situ* glébulas tão distintas em suas fábricas, que podem ser erroneamente interpretadas como provenientes de diferentes locais da paisagem, transportadas e depositadas nas baixas encostas durante a gênese dos ferricretes.

Termos de indexação: gênese de ferricretes, micromorfologia, petroplintita, laterita, relações solo-paisagem.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado, apresentada pelo primeiro autor ao curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Recebido para publicação em abril de 2000 e aprovado em dezembro de 2000.

⁽²⁾ Assistente Técnico de Pesquisa Científica e Tecnológica do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Caixa Postal 28, CEP 13020-900 Campinas (SP). E-mail: mrcoelho@barao.iac.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: pablo@carpa.ciagri.usp.br

⁽⁴⁾ Doutorando do Curso de Pós-graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo – USP. E-mail: fsbladeira@terra.com.br

SUMMARY: *MACRO AND MICROMORPHOLOGY OF NODULAR FERRICRETES DEVELOPED OVER SANDSTONE IN THE NORTH OF SÃO PAULO, BRAZIL*

On the landscape of the Eastern Plateau, north of the State of São Paulo, Brazil, there are ferricretes in different elevations. Although these features are relatively frequent over the cretaceous sandstone (Adamantina Formation, Bauru Group), little investigation has been carried out on their genesis. A morphological study at different levels of observation was conducted in order to elucidate the genesis of ferricretes (plinthite and petroplinthite), occurring at the toeslope of a landscape where soils with argillic horizon predominate, at the Pindorama Experimental Station of the Agronomic Institute (IAC). Two soil profiles were selected for detailed morphological description and samples taken for micromorphological observation using a binocular (reflected light) and a petrographic microscope. The macro and micromorphological evidence showed that ferricrete genesis is associated with the removal of ferrous iron from the upper slope position by throughflow and re-precipitation in the vadose zone. These ferricretes showed different internal fabrics, most having structures of degradation, giving evidence that the ironstone layer is currently being broken down. The fabric differentiations are related to the skeleton and plasma distribution. Some ferricretes have well selected skeleton, with predominance of very fine sand, others have predominance of medium-size sand and yet others have poorly selected skeletons, resembling the matrix-s interglaebules. Most of the glaebules show some volume occupied by plasma only. It is shown that pedo-lito-biological factors are involved in the diversity of ferricretes of one soil horizon. Thus, "in situ" glaebules well differentiated in their fabric may be mistakenly interpreted as having been originated at different landscape positions and deposited at the lower positions during ferricrete formation.

Index therms: ferricretes formation, micromorphology, petroplinthite, laterite, soil-landscape relationships.

INTRODUÇÃO

Há quase dois séculos, em 1807, Buchanan sugeriu o termo laterita (do latim o termo *later* significa tijolo) para designar um material avermelhado apropriado para construções de casas. De lá para cá, muito se evoluiu nos estudos dos materiais ferruginosos endurecidos de ampla ocorrência nas regiões tropicais, uma vez que os fenômenos de laterização são relevantes ao geólogo, interessado nos recursos minerais correlatos, ao geomorfólogo, preocupado com a evolução do relevo tropical, bem como ao pedólogo, no aproveitamento agrícola dos solos (Bigarella et al., 1996).

Essa abrangência interdisciplinar favoreceu a inexistência de uma linguagem comum entre os diferentes especialistas que lidam com as lateritas, e muita confusão ainda perdura em torno da definição do assunto. Assim, o termo ferricrete foi aqui escolhido para se referir aos materiais ferruginosos endurecidos sem nenhuma implicação genética, envolvendo tanto plintita como petroplintita, visando caracterizá-lo a fim de elucidar os diversos mecanismos envolvidos na sua gênese.

A ocorrência de níveis ferruginizados é freqüente em solos derivados da Formação Adamantina, região norte do estado de São Paulo, onde, muitas vezes, ocorrem perfis completamente dominados por essas feições. Esses materiais apresentam-se divergentes nos perfis quanto à profundidade de ocorrência, quantidade, espessura do horizonte ferricrete, padrão de distribuição, morfologia, classes e atributos dos solos associados e posição que ocupam na paisagem.

Assim, sua presença e suas diversificações podem afetar significativamente o comportamento físico-químico dos solos, fenômenos ainda pouco conhecidos (Batista & Santos, 1995), e, mais particularmente, esses materiais podem afetar os seguintes atributos dos solos: densidade, capacidade de retenção de água, infiltração, erodibilidade, volume explorado pelas raízes, capacidade de troca catiônica (CTC), textura e estrutura, fatores que influem no comportamento hidrológico, bem como na produtividade dos solos.

Portanto, não só o conhecimento da dinâmica de formação e evolução dos ferricretes e dos solos que desenvolvem essas feições ferruginosas, mas também as peculiaridades que afetam seu comportamento

devem ser elucidados para que se possa proceder ao uso e manejo adequado desses solos (Batista & Santos, 1995).

Dos trabalhos de diversos pedólogos, como Boulet et al. (1982), Castro (1989b) e Ladeira (1995), pode-se concluir que a integração e a hierarquização das informações, obtidas a partir de estudos morfológicos em diferentes escalas de observação, permitem avaliar, em primeira instância, a dinâmica pedogenética, a qual poderá ser comprovada a *posteriori* com outras análises físicas, químicas e mineralógicas.

No caso de feições pedológicas muito contrastantes com a matriz do solo, como é o caso dos ferricretes e de horizontes muito distintos, esse estudo morfológico pode ser ainda mais poderoso em suas avaliações, pois, nesses casos, as evidências macro e micromorfológicas costumam ser bastante claras e contundentes, e a observação detalhada de sua organização possibilita interpretações precisas da dinâmica atual e passada dos solos.

Apesar da vasta extensão que a Formação Adamantina do Grupo Bauru ocupa nas regiões oeste e norte do estado de São Paulo, são poucos os estudos que procuram avaliar suas características e elucidar a gênese dos solos associados. Por outro lado, trabalhos acerca da gênese de solos derivados dos sedimentos da Formação Marília, membro mais recente do Grupo Bauru, foram realizados no estado de São Paulo (Lepsch et al., 1977a,b; Jimenez Rueda & Demattê, 1988; Castro, 1989b; Marques Jr., 1995). Nenhum desses estudos relata a ocorrência de níveis ferricretizados na paisagem, o que leva a supor uma diferente natureza geoquímica entre os sedimentos das duas Formações.

O presente trabalho teve como principal objetivo caracterizar macro e micromorfológicamente as diferentes feições ferruginosas, bem como os perfis de solo onde ocorrem, fornecendo subsídios para elucidar os mecanismos envolvidos na gênese dos ferricretes.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Agronomia de Pindorama do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), região norte do estado de São Paulo. A estação localiza-se ao sul do município de Pindorama, próximo às coordenadas 21°13' de latitude sul e 48°56' de longitude oeste do meridiano de Greenwich. Geologicamente, a área é recoberta pela Formação Adamantina do Grupo Bauru, do Cretáceo Superior, a qual é caracterizada por arenitos de granulação fina a muito fina, alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos. Também são encontrados neste Grupo cimento e nódulos carbonáticos (Soares et al., 1980).

O clima da região enquadra-se no tipo Aw da classificação de Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média dos três meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) situa-se na faixa de 24,0°C, sendo de 19,5°C a média dos três meses de inverno (junho, julho e agosto), com uma precipitação média anual em torno de 1.390 mm.

Em um levantamento pedológico detalhado realizado na Estação Experimental, Lepsch & Valadares (1976) mapearam solos classificados como

Quadro 1. Níveis de observação morfológica

Nível de observação	Metodologia	Observação	Escala
Vertente	Tradagens com espaçamentos regulares, profundas e superficiais, etc. Identificação do segmento onde ocorrem ferricretes	Campo	1:500
Segmento de vertente	Identificação dos limites laterais e em profundidade dos horizontes com tradagens e aberturas de minitrincheiras	Campo	1:50
Perfil	Separação dos horizontes	Campo	1:1
Horizontes	Descrição morfológica detalhada, segundo Lemos & Santos (1996)	Campo - Lupa de bolso	1:1 e 10:1
Superfície de glêbulas e dos agregados	Observação e descrição de feições pedológicas e de estrutura de rocha	Laboratório - Lupa de mesa	2 a 30:1
Interior de glêbulas e agregados	Descrição micromorfológica, segundo Brewer (1976)	Laboratório - Microscópio petrográfico	40 a 200:1

Concrecionários Lateríticos, situados no terço inferior das vertentes. Selecionou-se uma dessas vertentes para o estudo seqüencial da morfologia dos ferricretes. As análises morfológicas obedeceram à seguinte escala de observação: vertente - segmento de vertente - perfis - horizontes - superfície de agregados e glébulas - interior de glébulas e de agregados (Quadro 1).

Após a identificação do segmento de vertente (meia encosta inferior) dominado por solos argissólicos com ocorrência de plintita, petroplintita e mosqueados, situação representativa da paisagem local, seguiu-se um estudo bidimensional da configuração lateral dos diferentes horizontes, segundo os procedimentos propostos por Boulet et al. (1982) e, em seguida, foram selecionados os locais para a abertura de duas trincheiras, identificadas aqui como P1 e P2.

Realizada a descrição morfológica dos perfis, seguindo especificações de Lemos & Santos (1996), coletaram-se amostras indeformadas e orientadas dos principais horizontes e das transições entre eles para fins micromorfológicos. A impregnação com resina poliéster e a preparação das lâminas delgadas seguiram os procedimentos descritos por Castro (1985). Após endurecimento, as amostras foram cortadas em blocos de dimensão aproximada de 12 x 8 x 3 cm, analisadas detalhadamente em lupa binocular, a fim de selecionar os campos mais significativos e representativos do material estudado para confecção das lâminas delgadas. As análises micromorfológicas, bem como as fotomicrografias, foram realizadas em fotomicroscópio petrográfico Zeiss, seguindo os critérios estabelecidos por Brewer (1976) e compilações realizadas por Castro (1989a).

Os solos foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) a partir dos resultados obtidos por Coelho (1998) para a área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os horizontes ferricretes estão limitados ao terço inferior da vertente. A montante desses materiais ferruginosos, do topo à baixa meia encosta da toposseqüência, os solos apresentam horizonte B textural e variação em alguns atributos morfológicos, como a espessura do horizonte E, pertencendo, porém, todos à classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos abrupticos. A figura 1 representa a toposseqüência predominante da região, evidenciando a espessura dos solos (até à rocha) e a localização da vertente e dos perfis estudados.

No terço final da vertente, onde foram abertas as duas trincheiras, o desaparecimento das feições ferruginosas a montante destas estabeleceu o limite superior do segmento estudado, sendo seu limite inferior o sopé da vertente, onde mosqueados constituem as únicas feições ferruginosas.

O perfil P1 apresenta a seqüência e a morfologia dos horizontes indicados no quadro 2 e figura 2a, onde se observam dois exíguos horizontes acima do horizonte ferricrete, ambos de textura areia-franca. Sua cor varia de 7,5 YR 4/2 (bruno-escuro), no horizonte A, para 7,5 YR 4/4 (bruno-escuro), no horizonte E. Já nos horizontes F e Cf, a matriz friável onde as glébulas estão inseridas é de coloração vermelho-amarelada (5YR 4/6).

Dois horizontes glebulares (F e Cf) foram identificados, descritos e amostrados. No horizonte F, há uma predominância de glébulas em relação à matriz, sendo 80% (volume/volume) do horizonte predominantemente glebular e os 20% restantes representam o solo circundante às glébulas (matriz interglebular). No entanto, no horizonte Cf, a proporção da matriz interglebular em relação às glébulas é maior, sendo caracterizado por uma relação de 40% de glébulas/60% de matriz.

Abaixo dos horizontes glebulares, o material saprolítico é progressivamente manchado em tons esbranquiçados à medida que se aprofunda no perfil. Colorações vermelhas (2,5 YR 4/8) no horizonte Cr são progressivamente substituídas por manchas cinzas (5YR 6/1) e amarelo-avermelhadas (7,5 YR 6/6) nos horizontes Crg1 e Crg2, juntamente com o aumento da umidade e com a profundidade. No Cr, notaram-se revestimentos iluviais e contínuos (cerosidade forte e abundante) de coloração bruno-forte (7,5YR 5/6) envolvendo os fragmentos de arenito semidecomposto. Comparado com a cor da matriz interglebular dos horizontes F e Cf (5YR 4/8), o matiz mais amarelo do revestimento sugere a remoção de ferro no transporte das argilas providas desses horizontes, as quais foram, posteriormente, depositadas nos horizontes sotopostos.

As classes texturais deste perfil são areia-franca, nos horizontes A e E, passando para franco-argilo-arenosa, na matriz interglebular, permanecendo com essa mesma classe textural, no horizonte Cr, podendo ser atribuída a presença de cerosidade forte e abundante neste último à migração de argila, como já foi sugerido e observado nas análises micromorfológicas. Isso é corroborado pela diminuição da argila em profundidade e pela drástica redução da quantidade e do grau de desenvolvimento da cerosidade, embora os processos de intemperismo da rocha e formação de solos possam dar origem a minerais na fração argila.

Cinco propriedades macromorfológicas foram consideradas relevantes para a caracterização, diferenciação ou interpretação genética das feições ferruginosas, possibilitando a separação dos dois horizontes glebulares (F e Cf) na descrição dos perfis P1 e P2, tal como relatados acima, seguindo as recomendações de Lemos & Santos (1996). A dureza do material, que é expressa pela sua resistência quando submetido a esforços com as mãos, é uma medida do grau de cimentação das glébulas e

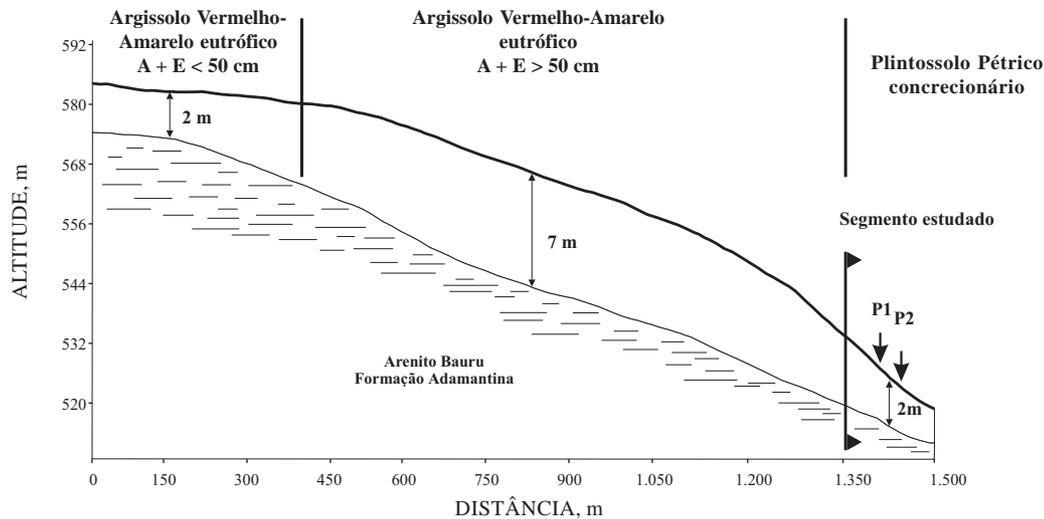


Figura 1. Distribuição dos solos na paisagem e localização do segmento de vertente e dos perfis estudados.

possibilita identificar seu estágio de desenvolvimento. A cor é usada como uma medida do tipo e forma de ferro nos solos e, juntamente aos atributos tamanho e quantidade, pode constituir uma ferramenta útil na caracterização, distinção e interpretação genética entre diferentes feições ferruginosas.

As glébulas do horizonte F (perfil P1) foram caracterizadas pela elevada dureza, não possibilitando o rompimento com as mãos. Essa dureza resulta em uma resistência dos ferricretes à penetração radicular, reduzindo a profundidade efetiva dos solos. Seus diâmetros variam desde milimétricos (4 mm) a centimétricos (4 cm), com tamanho médio de 1,5 cm. Apresentam-se predominantemente com formas irregulares (Figuras 2d e 2e), algumas subarredondadas e mais raramente esféricas. Suas cores são vermelho-acinzentadas (10R 4/4), geralmente com um córtex milimétrico de cor vermelho-escuro-acinzentada (10R 3/6; Figura 2e) e eventualmente bruno-forte (7,5YR 5/8). Esses tons amarelados também estão frequentemente presentes no interior das glébulas, dispersos em manchas irregulares.

Tais glébulas englobam a classe dos ferricretes nodulares descritos por Bourman (1993), pelo fato de não apresentarem bordas múltiplas; sendo, portanto, nódulos nas concepções de Brewer (1976) e de Tardy (1993). Correspondem à petroplintita, por constituírem um material rígido (Curi et al., 1993); à fase esquelética da FAO (1994), pelo fato de o material nodular não se apresentar continuamente cimentado, bem como à definição de couraça, conforme critérios apresentados por Tardy (1993).

As glébulas do horizonte Cf são muito duras, quando secas, e muito firmes, quando úmidas, embora possam ser quebradas entre o polegar e o indicador. Suas dimensões variam de 0,3 a 3,0 cm,

com diâmetro médio de 1,5 cm. São de cores predominantemente vermelhas (2,5 YR 4/6), com uma borda milimétrica de coloração vermelho-acinzentada (10R 4/4), formas aproximadamente esféricas (geralmente irregulares) e guardam as estruturas morfológicas do arenito. Segundo Roquin et al. (1990) e Tardy & Roquin (1992), esses ferricretes são imaturos e recebem a adjetivação de litodependentes. Correspondem à rocha ferricretizada de Bourman (1993), considerando não só a preservação das estruturas da rocha de origem e as feições ferruginosas identificadas como plintita, pela menor dureza do material quando comparadas às glébulas do horizonte F, mas também a preservação de sua estrutura, quando imersas em água sob agitação suave, conforme indicações de Daniels et al. (1978).

Os atributos morfológicos e os diferentes horizontes do perfil P2 estão apresentados no quadro 2 e na figura 2c. Dois horizontes glebulares foram identificados e caracterizados, seguidos aos horizontes texturais. Para os horizontes F e Cf, a proporção de glébulas em relação à matriz é semelhante à do perfil P1, diferindo na morfologia dos nódulos (tamanho, cor e estrutura).

As petroplintitas são maiores em relação ao P1; suas dimensões vão desde 0,3 a 10 cm de diâmetro, com tamanho médio de 2,3 cm. Apresentam formas diversas, predominantemente irregulares e eventualmente arredondadas. Algumas descritas aqui como de estrutura "ruiniformes" (Figura 2f) são as maiores glébulas do horizonte F e perfazem 10% do volume deste horizonte. Assemelham-se a um agrupamento ou coesão entre indivíduos menores, pois conseguem, com esforço moderado, individualizar pequenos nódulos na sua periferia, ou mesmo, identificar, nesta massa glebular, pequenos volumes com a mesma morfologia das glébulas individuais e

Quadro 2. Características macromorfológicas dos solos estudados

Perfil P1 – Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico típico A moderado textura arenosa/média esquelética						
Horizonte	Profundidade	Cor úmida	Textura	Estrutura	Consistência	Observações
	cm					
A	00-10	7,5YR 4/2	areia-franca	moderada, pequena e média, blocos subangulares	macia, muito friável, não-plástica e não-pegajosa	Transição clara e ondulada. Muito poucos nódulos pequenos, duros e irregulares
E	10-25	7,5YR 4/4	areia-franca	fraca, média e grande, blocos subangulares	ligeiramente dura, friável, não-plástica e não-pegajosa	Transição plana e abrupta. Presença de muito pouco nódulos, pequenos duros e irregulares
F	25-45	5YR 4/6	franco-argilo arenosa	matriz terrosa maciça entre as glébulas	plástica e pegajosa	Transição plana e abrupta. Nódulo dominante, grande e duro. Presença de cerosidade no interior dos poros
Cf	45-55	5YR 4/6	franco-argilo arenosa	matriz terrosa maciça entre as glébulas	plástica e pegajosa	Transição plana e abrupta. Nódulos frequentes, grande e duro. Cerosidade no interior dos poros
Cr	55-116	2,5 YR 4/8	franco-argilo arenosa	fragmentos de rocha entremeado a uma matriz terrosa maciça	dura, muito firme, plástica e pegajosa	Cerosidade forte e abundante; transição gradual e ondulada
Crg1	116-140	variegada	franco-argilo arenosa	fragmentos de rocha entremeado a uma matriz terrosa maciça	ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa	Cerosidade fraca e comum. Transição ondulada e gradual. Ausência de nódulos
Crg2	140-180	variegada	areia-franca	fragmentos de rocha entremeado a uma matriz terrosa maciça	ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Cerosidade fraca e comum. Ausência de nódulos
Perfil P2 – Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abruptico plintico A moderado textura arenosa/média						
A	00-10	7,5YR 4/2	areia-franca	franca, média, blocos subangulares	macia, friável, não-plástica e não-pegajosa	Transição clara e ondulada. Presença de muito pouco nódulos, pequenos, duros e irregulares
E	10-26	7,5YR 4/4	areia-franca	fraca, média, blocos subangulares	ligeiramente dura, friável, não-plástica e não-pegajosa	Transição plana e abrupta. Nódulos muito pouco, pequenos e irregulares
Bt1	26-38	5YR 4/6	franco-argilo arenosa	moderada, média e grande, blocos subangulares	dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Transição plana e gradual. Nódulos muito pouco, pequenos e irregulares
Bt2	38-60	5YR 4/8	franco-argilo arenosa	moderada, média e grande, blocos subangulares	dura, firme, plástica e pegajosa	Transição abrupta e ondulada. Nódulos muito pouco, pequenos e irregulares
F	60-85	5YR 4/6	franco-argilo arenosa	matriz maciça	plástica e pegajosa	Transição abrupta e ondulada
Cf	85-110	5YR 4/8	franco-argilo arenosa	matriz maciça	plástica e pegajosa	Transição abrupta e ondulada
Cr	110-164	2,5YR 4/6	franco-argilo arenosa	estrutura original da rocha entremeada a uma matriz terrosa maciça	ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa	Transição clara e ondulada. Presença de revestimento enegrecido de manganês nos fragmentos do saprolito
R	164-190	2,5YR 4/6	franco arenosa	estrutura da rocha	dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Presença de um revestimento enegrecido de manganês nas fraturas e fendas da rocha

de menores tamanhos, porém fortemente aderidas. Outras poucas petroplintitas, localizadas predominantemente na base do horizonte, mostram-se enegrecidas no seu interior, evidenciando uma maior segregação de manganês (Coelho, 1998).

O horizonte Cf, semelhante ao do perfil P1, é caracterizado por nódulos que ainda guardam a

estrutura da rocha mãe. No entanto, mostram-se maiores, com dimensões que variam desde 0,6 mm a 7 cm, com diâmetro médio de 3 cm, formas irregulares, algumas com tendências poliédricas cúbicas, assemelhando-se aos fragmentos de saprolito semidecomposto (Figura 2g). Um horizonte saprolítico Cr ocorre em seguida ao Cf, com a rocha mãe aflorando a 164 cm de profundidade.

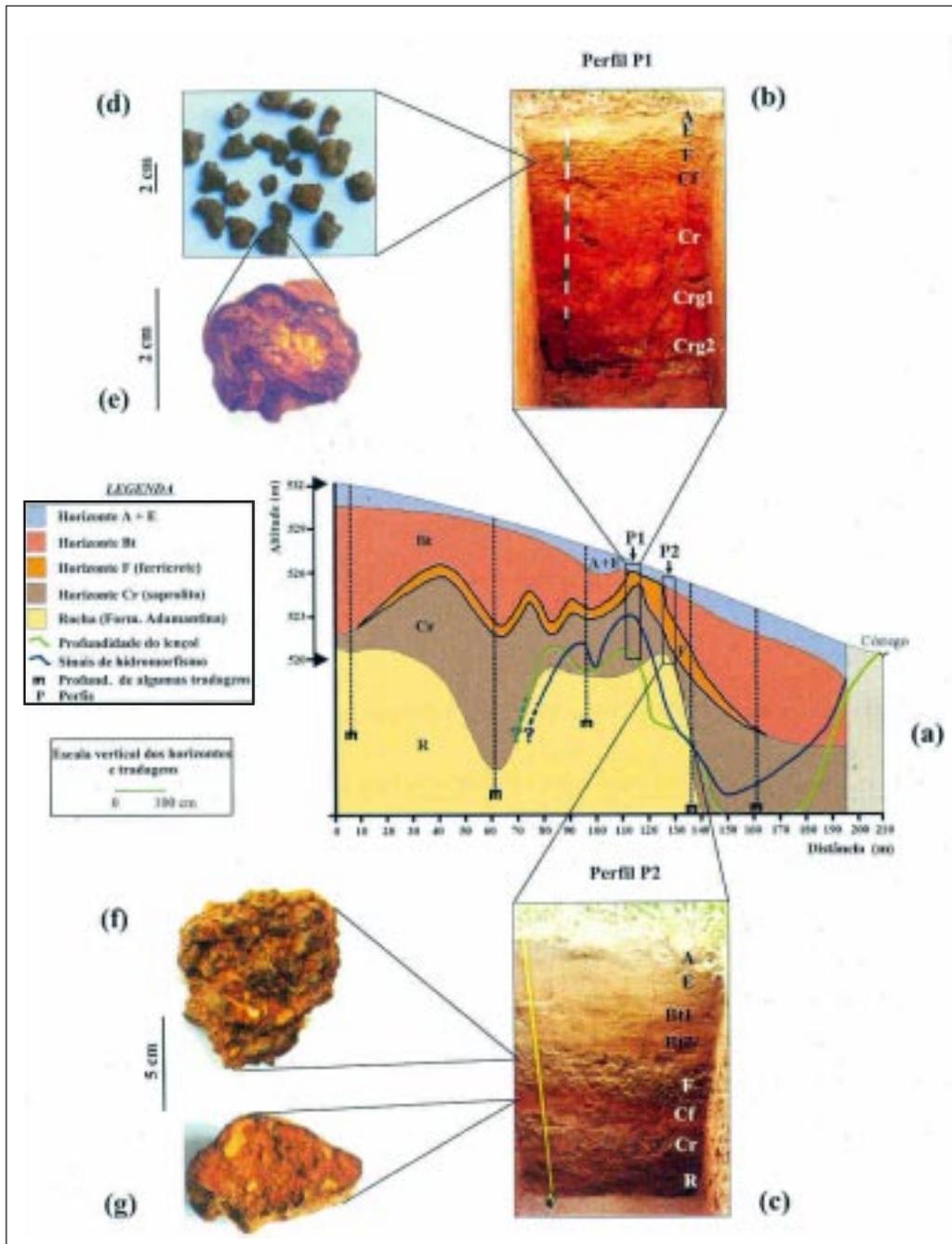


Figura 2. (a) Configuração lateral e vertical dos horizontes na seqüência estudada. Há três escalas no desenho: (a) escala horizontal (x); (b) escala vertical ($x*2$); (c) escala dos horizontes ($x*20$). (b) Perfil P1. (c) Perfil P2. (d) Nódulos predominantes dos horizontes petroplínticos na seqüência estudada. (e) Detalhe do interior dos nódulos, evidenciando o córtex milimétrico mais avermelhado em relação ao seu interior, bem como tons amarelados dispersos na sua matriz. (f) Glóbula "ruiniforme" do horizonte petroplíntico (perfil P2). (g) Plintita do horizonte Cr do Perfil P2.

A configuração lateral e vertical dos horizontes na seqüência estudada está representada na figura 2a. É evidente a similaridade entre a configuração lateral da rocha e dos ferricretes. Os sinais de hidromorfismo (matizes com maior valor e baixo croma) nos horizontes saprolíticos distribuem-

se de maneira similar aos do nível superior do lençol, verificados três dias após uma chuva intensa. Isso mostra que a rocha exerceu e continua exercendo forte influência na oscilação do lençol, uma vez que ambos os eventos (sinais de hidromorfismo e nível do lençol) acompanham a topografia de alteração da rocha.

Essa configuração lateral dos horizontes glebulares na seqüência estudada só pode ser explicada pela deposição de ferro no limite superior de oscilação do lençol freático. São os ditos “ferricretes de lençol freático”, como sugerem Bourman et al. (1987) e Wright et al. (1992), relacionados com a lixiviação do ferro ferroso da paisagem a montante e deposição na zona de vadosa, onde condições mais oxidantes prevalecem.

Outras características morfológicas evidenciam a designação de “ferricrete de lençol” aos materiais aqui estudados. Comparado a um perfil laterítico típico (McFarlane, 1976, 1983), o pequeno desenvolvimento dos perfis estudados revela uma origem de lençol ao ferricrete, como comentam McFarlane (1976, 1983) e Wright et al. (1992). Também as concentrações de ferro nos solos, originando os ferricretes pedogenéticos, são tipicamente complexos, tanto estrutural como composicionalmente (Tardy & Nahon, 1985; Milnes et al., 1985). Todavia, as glébulas aqui são simples em estrutura, como descritas anteriormente e

verificadas nas observações micromorfológicas, corroborando novamente sua origem associada à zona de vadosa. Acredita-se que a presença dos ferricretes apenas no sopé da vertente da área estudada seja a principal evidência da lixiviação e mobilização do ferro ferroso das paisagens a montante e deposição no estreito limite de oscilação do lençol freático.

Micromorfologia

A análise dos horizontes saprolíticos do perfil P1 (Quadro 3) evidencia a dominância de uma trama porfírica aberta no Crg2, com tendências gefúricas locais, as quais evoluem para uma trama exclusivamente porfírica fechada no horizonte Cr, acarretando acentuada redução da porosidade (passa de 40%, no Crg2, para 10%, no Cr). Além dessa variação, o surgimento de cutãs no Cr, bem como de um plasma isótico associado a uma estrutura de base silassépica, evidencia e corrobora a participação da argiluviação no aumento de argila nesse horizonte, tal como relatado nas observações de campo.

Quadro 3. Características micromorfológicas dos solos estudados

Perfil P1 - Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico típico A moderado textura arenosa/média esquelética				
Atributo	Horizonte/profundidade de coleta			
	E/F1 (18-28 cm)	F2/Cr (50-65 cm)	Cr (100-110 cm)	Crg2 (145-160 cm)
Plasma	20%, bruno-escuro, argila mineralógica e óxidos de ferro, isótico passando para vermelho-amarelado, silassépica com tendência vossemassépica próximo ao F1.	20%, vermelho-amarelado predominante e localmente vermelho-escuro e vermelho, argila mineralógica e óxidos de ferro isótico com tendência vossemassépica.	25%, vermelho-amarelo predominante e localmente vermelho-escuro e vermelho, argila mineralógica e óxidos de ferro, plasma silassépico com tendência vossemassépica.	20%, vermelho-amarelo, silassépico e raramente vossépico, argila mineralógica e óxidos de ferro.
Esqueleto	40%, quartzo subarredondado nas frações grosseiras enquanto as frações finas são subangulares, paredes lisas e presença de alguns feldspatos potássicos.	30 %, quartzo com a mesma forma e exoscopia do horizonte anterior, apresenta alguns campos selecionados com grãos finos devido a atividade biológica e a própria litologia.	65%, quartzo com a mesma forma e exoscopia dos horizontes anteriores, no entanto, havendo um aumento dos grãos muito finos.	40%, quartzo semelhante quanto a forma e exoscopia aos horizontes acima, variando em granulometria (predomina fração mais grosseira, 350 µm) e maior abundância de feldspatos potássicos (2%). Algumas porções da fábrica interna são dominadas por esqueleto triado na fração areia fina.
Poros	40%, predomínio de poros de arrançamento e ortocavidades no E, enquanto no F1, canais, orto e metacavidades.	50%, ortocavidades predominante, algumas meta, poucos canais e alguma porosidade de arrançamento.	10%, reduziu sensivelmente em relação a transição F2/Cr, predominando ortocavidades e canais irregulares.	40%, ortocavidades e canais irregulares, poucas fissuras.
Trama	Gefúrica com tendência chitônica no E, passando para porfírica fechada no F1.	Porfírica com tendência gefúrica localmente.	Porfírica fechada.	Porfírica fechada com tendência gefúrica localmente.
Feições	Nódulos isóticos (40% da lâmina), ferriargilãs, hematãs, cutãs de tensão no F1, enquanto no E predominam isotúbulos.	Nódulos ocupam 60% do plano da lâmina, ferriargilãs, cutãs de transformação e hematãs. Cutãs perfazem 10% do plasma.	Cutãs ocupam 20% do plasma e correspondem a ferriargilãs de iluviação, cutãs de transformação e hematãs. Também isotúbulos mostram-se presentes em 20% da lâmina, geralmente circulares e com esqueleto triado.	Poucos cutãs (1%), predominando de transformação. Presença de isotúbulos circulares.

Continua...

Quadro 3, Continuação

Atributo	Perfil P2 - Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abruptico plintico A moderado textura arenosa/média						
	Horizonte/profundidade de coleta						
	E (12-22 cm)	E/Bt1 (20-30 cm)	Bt2/F1 (55-70 cm)	F1 (65-75 cm)	F2/Cr (105-120 cm)	Cr (140-150 cm)	R (175-185 cm)
Plasma	5%, bruno, argila mineralógica e óxidos de ferro, isóptico	20%, bruno-escuro, argila mineralógica e óxidos de ferro, isóptico.	30%, vermelho-amarelo predominante e localmente vermelho-escuro e vermelho, argila mineralógica e óxidos de ferro. Fundo matricial isóptico com tendência massépica.	35%, vermelho-amarelo predominante e localmente vermelho-escuro e vermelho, argila mineralógica e óxidos de ferro. Fundo matricial isóptico com tendência vossemassépico.	20%, vermelho-amarelo, argila mineralógica e óxidos de ferro, silassépico e localmente vossemassépico.	35%, predominantemente vermelho, com alguns domínios vermelho-escuro-acinzentado (5%), argila mineralógica e óxidos de ferro e manganês, isóptico e localmente silassépico.	40%, predominantemente vermelho com alguns domínios vermelho-escuro-acinzentado devido a maior segregação do ferro e manganês, argila mineralógica e óxidos de ferro e manganês. Isóptico
Esqueleto	45%, quartzo subarredondado nas frações grosseiras e subangulares nas mais finas. Tamanho dominante 200 µm. Presença de feldspatos (raros)	35%, idem anterior	55%, idem	55%, idem	30%, idem, porém com maiores conteúdos de feldspatos potássicos e aumento do tamanho médio do grão (300 µm)	45%, quartzo subarredondado nas frações areia média e fina e subangular na fração muito fina. Tamanho médio do grão: 300 µm. Algumas porções predominam quartzo fino.	55%, idem anterior, com maior participação de feldspatos, ocupando 5 a 8% do fundo matricial. Alguns domínios são ocupados com quartzo na fração areia muito fina.
Poros	50%, predomínio de uma porosidade de arranjo e ortocavidades.	45%, predomínio de ortocavidades e poros de arranjo	15%, predomínio de orto e metacavidades e canais	10%, predomínio de orto e metacavidades e canais	50%, predominam ortocavidades. No entanto, metacavidades e orto e meta canais estão presentes.	20%, predomínio de ortocavidades e algumas fissuras.	5%, predominantemente fissurais
Trama	Chitônica.	Porfírica no Bt, passando a gefúrica e chitônica nas proximidades do E	Porfírica fechada.	Predomina porfírica fechada com restrita porosidade, alternadas com porfírica aberta de maior porosidade	Porfírica com tendência gefúrica localmente.	Porfírica fechada	Porfírica fechada
Feições	Presença de nódulos isópticos milimétricos (0,3 cm) e agrotúbulos circulares formados por raízes.	Presença de nódulos isópticos milimétricos (0,3 mm). Raros ferriargilãs de iluviação. Presença de agrotúbulos circulares formados por raízes	Aumento do tamanho e quantidade dos nódulos isópticos. Presença de ferriargilãs e hematãs em pequenas quantidades (1% do plasma)	Nódulos ocupam 60% da lâmina. Presença de ferriargilãs simples, cutãs zonados complexos e hematãs. Presença de isotúbulos circulares.	Nódulos irregulares ocupam 30% do plano da lâmina. Presença de ferriargilãs de iluviação (3% do plasma), cutãs de transformação (2% do plasma) e hematãs (< 1%)	Nódulos milimétricos e subarredondados ocupando 5% da lâmina. Poucos ferriargilãs de iluviação. Dominância de hematãs. Presença de isotúbulos circulares.	Presença de neomangãs e quasimangãs, neoferrãs e quasiferrãs.

Para ilustrar esse mecanismo, a figura 3a mostra o fundo matricial do horizonte Cr. Observa-se uma trama porfírica fechada em que poros ortocavitários e canais, em pequeno número, juntamente com a intensa ocorrência de ferriargilãs de iluviação e hematãs, evidenciam as mobilizações de Fe e argila

no horizonte, possivelmente provindos da matriz interglebular. Assim, ferro e argila estão preenchendo a porosidade cavitária, reduzindo-a nesta porção do perfil, sendo responsáveis pelo acentuado acréscimo da fração argila em relação aos demais horizontes inferiores do perfil. A figura 3b revela, em detalhes,

os ferriargilãs identificados na figura anterior. Aparentemente o ferro está segregado em algumas porções do cutã, apresentando-se isótico sob nicóis cruzados, sugerindo mobilização de Fe^{2+} posterior à deposição cutânica, difundindo-se e precipitando-se nos poros de menor tamanho na forma de hematita, tal como sugerido por Nahon (1986) e Tardy & Nahon (1985). Observa-se, também, pelo exame da figura 3b, a presença de esqueleto muito fino incorporado ao ferriargilã. Esse fato evidencia a mobilização a curta distância de quartzo muito fino, preenchendo a porosidade cavitária juntamente com a argila iluviada. Mecanismos similares foram descritos por Nahon (1986).

A transição Cf/Cr é marcada por um acréscimo acentuado da porosidade cavitária em relação ao horizonte Cr (passa de 10%, no Cr, para 50%, na transição Cf/Cr), possivelmente relacionado com fluxos hídricos turbulentos durante as oscilações do lençol freático. As seções delgadas no topo do horizonte Cr mostraram a presença de ortocavidades de 1mm de diâmetro em estádios de desmantelamento, promovendo a coalescência desses poros e a degradação dos agregados porfíricos. A maior concentração de quartzo nas frações areia muito fina e fina, associada a alguns poros, evidencia uma possível dissolução dos grãos de esqueleto e um estado geral de desmonte da estrutura nessas porções do perfil.

A significativa porosidade gerada imediatamente abaixo do horizonte plíntico e a disponibilização dos elementos provindos da degradação das glébulas, fato que será relatado posteriormente, possibilitaram a mobilização de Fe^{2+} do horizonte ferricrete, bem como da argila e de frações mais grosseiras, os quais foram depositados no horizonte Cr (Figura 3b).

O perfil P2 (Quadro 3) assemelha-se ao P1 em relação às características micromorfológicas e aos mecanismos envolvidos na gênese dos horizontes ferricretes. Nele, além das glébulas, pedotúbulos e ferriargilãs constituem as feições pedológicas do fundo matricial interglebular. Esses últimos ocupam aproximadamente 5 % do total de plasma e, muitas vezes, mostram-se intensamente ferruginizados, ora assemelhando-se a ferriargilãs microlaminados parcialmente isóticos, ora a hematãs, com sua orientação forte e contínua totalmente obliterada pela ferruginização. A figura 4 mostra, em detalhe, esses dois tipos de cutãs e sugere uma origem comum, uma vez que apenas o grau de ferruginização os diferencia. Possivelmente, o ferro, difundido e precipitado no interior dos ferriargilãs de iluviação, origina o caráter isótico mostrado na figura 4, constituindo uma das etapas iniciais de formação dos nódulos ferruginosos.

Glébulas

As glébulas, em sua maioria, mostram-se irregulares quanto à morfologia externa, sem formas definidas. Segundo Brewer (1976), essa morfologia é indicio de uma origem *in situ*. Quanto à individualização,

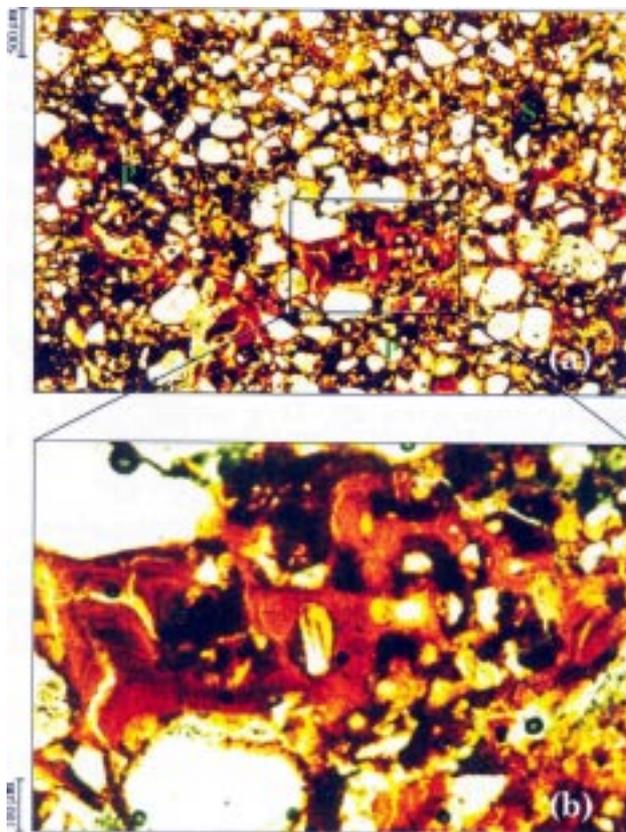


Figura 3. (a) Vista geral do horizonte Cr do perfil P1. Nota-se a deposição de ferriargilãs na porosidade gerada entre os fragmentos de saprolito (P) e o solo (S). Luz normal - 2,5x. (b) Detalhes do ferriargilã da figura 3a. A incorporação de grãos de quartzo muito fino no preenchimento sugere sua movimentação à curta distância, juntamente com a argiluviação. Luz normal - 10x.

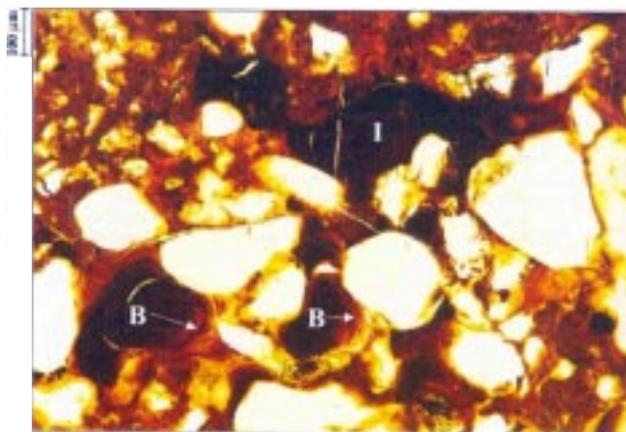


Figura 4. Ferriargilãs de iluviação no fundo matricial interglebular do horizonte F (perfil P2). Notam-se os bandeamentos no cutã parcialmente isótico (B) sob luz natural e a completa isotropia do cutã acima (I). Luz normal - 10x.

apresentam limites muito nítidos em relação ao fundo matricial interglebular, caracterizando-as como discretas e fracamente aderentes.

Não há diferenças entre as glébulas plínticas e petroplínticas quanto à morfologia externa, bem como entre as glébulas dos diferentes perfis. Internamente, classificam-se como indiferenciadas (Brewer, 1976). No entanto, 40% das glébulas petroplínticas mostram um córtex de aproximadamente 0,15 mm e de coloração marrom ou amarelada, e que estão ausentes nas plínticas, o que será discutido posteriormente. Além dessa diferença, algumas plínticas não são completamente isóticas e apresentam porções anisotrópicas no seu interior, associadas a colorações mais amareladas. As figuras 5 e 6 evidenciam essa diferença, salientando a presença de porções mais claras em algumas glébulas plínticas, anisotrópicas sob microscópio óptico e de colorações amareladas, possivelmente relacionadas com seu maior teor de goethita.

Apesar de classificá-las como indiferenciadas, o que significa afirmar que seus constituintes não apresentam uma orientação específica, as glébulas (aproximadamente 70%) examinadas no plano das lâminas mostram domínios ou volumes internos ocupados por esqueleto de diferente granulometria em relação ao restante da glébulas, ou por apenas plasma.

Também é bastante comum a ocorrência de glébulas inteiras com granulometria interna dominada por esqueleto na fração areia muito fina (100 µm), enquanto, em glébulas vizinhas e muito próximas, bem como em sua matriz interglebular, o esqueleto está concentrado predominantemente na fração areia média (200 µm) (Figuras 7 e 8). Glébulas com um fundo matricial de diferentes granulometrias do esqueleto também são freqüentes no plano da lâmina. Segundo Brewer (1976), todas essas feições ferruginosas aqui descritas são enquadradas como nódulos em virtude de sua fábrica interna indiferenciada.

Da descrição micromorfológica desses materiais, podem-se inferir alguns mecanismos envolvidos na sua gênese. Nódulos com o esqueleto triado e de diferentes granulometrias desenvolvidos lado a lado no horizonte ferricrete, e que também diferem do fundo matricial interglebular (Figura 8), podem sugerir uma origem detrital ou alóctone a esses materiais.

Brewer (1976) propõe que se observe o contraste entre o material da fábrica interna das glébulas e o seu entorno. Quando são diferentes, o autor classifica-os como anórtico e afirma serem esses nódulos alóctones, ou seja, sua gênese está associada à formação em pedoambientes diferenciados, e que, por transporte e deposição, originam feições com diferentes fábricas internas em relação ao fundo matricial interglebular. No entanto, essa hipótese aparentemente não é válida para a gênese dos ferricretes aqui estudados, uma vez que existem evidências de sua origem autóctone.

Diferentes mecanismos podem estar associados à seleção do quartzo ou à redução de sua granulometria no solo e no saprolito. A origem litogenética relacionada com o próprio ambiente deposicional da rocha pode estar condicionando domínios ocupados com quartzo mais fino nos diferentes horizontes ou camadas dos perfis, tal como foram observados na rocha e no saprolito do perfil P2.

Outro mecanismo refere-se à iluviação conjunta de plasma e esqueleto fino a curtas distâncias, tal como evidenciado anteriormente, os quais são depositados nos macroporos e, posteriormente, incorporados ao nódulo durante a sua formação. Também, a dissolução do quartzo nos pedoambientes de maior fluxo hídrico pode ser responsável pela redução de seu tamanho.

Finalmente, pode-se admitir que a atividade biológica exerça um controle efetivo na morfologia interna de algumas glébulas milimétricas e que apresentem esqueleto triado em relação ao fundo matricial interglebular. A figura 9 mostra uma glébulas plíntica em formação (horizonte Cr, perfil P2) com grãos de esqueleto de maiores dimensões alinhados e separando uma porção com quartzo fino de outra, com esqueleto de diferentes granulometrias. Isso revela a existência de um pedotúbulo que foi incorporado ao fundo matricial e, posteriormente, ferruginizado durante a gênese das glébulas. Inúmeros isotúbulos foram identificados em todos os horizontes dos perfis, vários deles com esqueleto triado e de pequenas dimensões.

A presença de domínios ocupados apenas com plasma no interior das glébulas mostra a participação dos mecanismos de iluviação na sua formação. Conforme observado por vários autores, o desenvolvimento de uma macroporosidade no saprolito é acompanhado pelo seu preenchimento com argila secundária ou proveniente da argiluviação. Esses processos caracterizam as etapas iniciais na formação de nódulos e concreções ferruginosas (Bellinfante et al., 1970; Nahon, 1986) e aparentam ser procedentes nas glébulas estudadas. A figura 10 evidencia a influência da atividade biológica e a iluviação na formação dos nódulos. Notam-se alguns volumes dominados apenas por plasma (P), enquanto outros formam verdadeiros "corredores" (C) preenchidos com um fino esqueleto triado e plasma. Possivelmente, esses "corredores" são paleopedotúbulos, enquanto os domínios ocupados com plasma apenas correspondem a canais biológicos, que foram posteriormente preenchidos com ferriargilãs ou hematãs e ferruginizados durante a gênese das glébulas. Pode-se especular ainda que tal ferruginização poderia completar-se por uma colmatação da macroporosidade com géis de ferro, favorecendo a difusão do elemento para a matriz vizinha, o que explicaria a similaridade entre o esqueleto encontrado nas bordas de algumas glébulas e o da matriz do solo circundante.

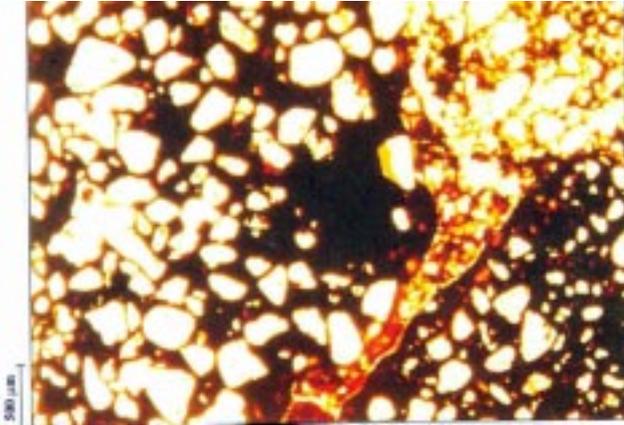


Figura 5. Morfologia interna da petroplintita do horizonte F (perfil P2) evidenciando seu completo caráter isóptico. Luz normal - 2,5x.

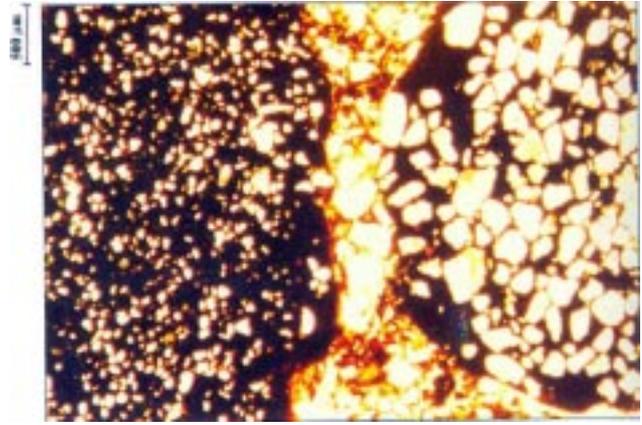


Figura 8. Fotomicrografia mostrando glóbulos com diferentes granulometrias do esqueleto presentes lado a lado no horizonte petroplíntico do perfil P2. Luz normal - 2,5x.

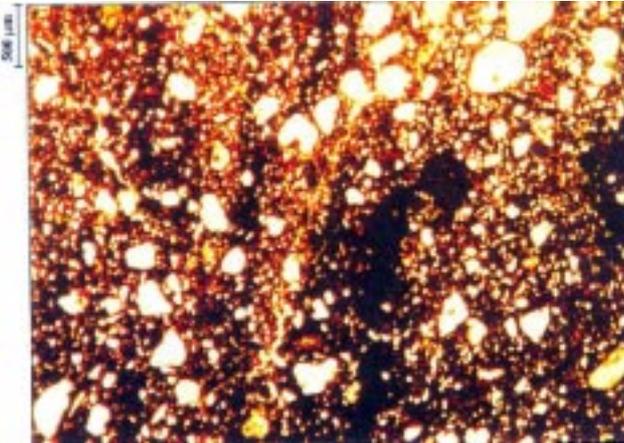


Figura 6. Morfologia interna da plintita do horizonte Cf (perfil P1) mostrando volumes mais claros relacionados com as porções amareladas e anisotrópicas sob microscópio óptico. Luz normal - 2,5x.

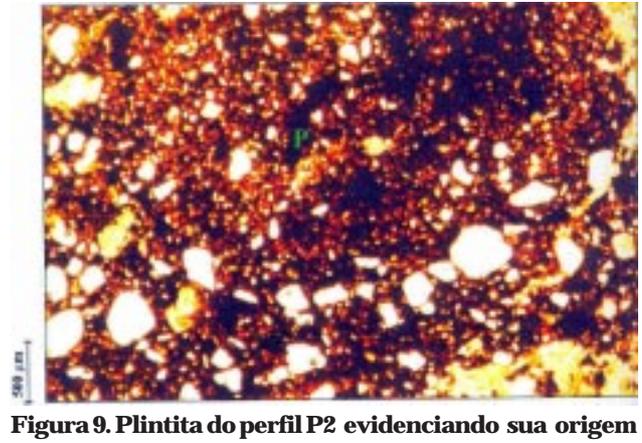


Figura 9. Plintita do perfil P2 evidenciando sua origem associada à atividade biológica. Nota-se o alinhamento dos grãos de esqueleto separando os volumes com quartzo mais fino daqueles de maiores dimensões. O domínio com esqueleto fino corresponde a um pedotúbulo (P), o qual se encontra ferruginizado. Luz normal - 2,5x.

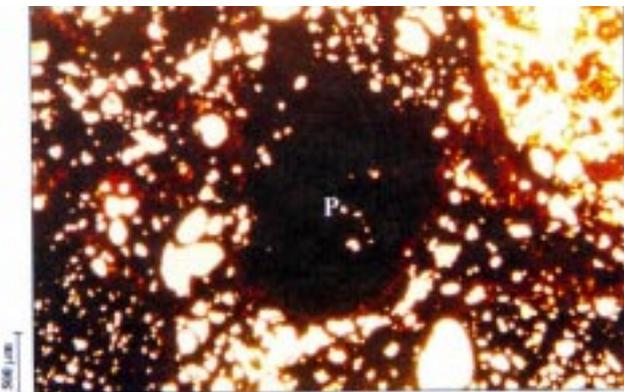


Figura 7. Petroplintita do perfil P1 mostrando parte de seu volume interno predominantemente plásmico (P). Luz normal - 2,5x.

Gênese das glóbulas “ruiniformes”

As glóbulas identificadas como “ruiniformes” correspondem às de maiores dimensões encontradas nos horizontes ferricretes; aparentemente, assemelham-se a uma fusão entre glóbulas individuais. As evidências micromorfológicas confirmam essa suposição e sugerem a participação de aportes de Fe^{2+} nos estádios finais ou posteriores à sua formação, difundindo-se e promovendo a cimentação entre as glóbulas individuais, tal como sugerido por Sivarajasingham et al. (1962) e McFarlane (1976). A figura 11 evidencia essas interpretações. Nota-se que a fusão entre as glóbulas dá-se por uma “ponte” de constituição diferente em

relação ao fundo matricial intraglobular. Essa diferença é evidente no esqueleto, de dimensões superiores às das glóbulas. Isso sugere uma formação em diferentes épocas para as “pontes” e as glóbulas, pois, caso fossem sincrônicas, assemelhar-se-iam na granulometria do esqueleto.

A fotomicrografia da figura 11 corresponde a uma glóbula ruiforme do horizonte petroplíntico (perfil P2), sendo que todos os pontos de fusão (“pontes”) interglobulares observados no plano da lâmina mostram a mesma morfologia, ou seja, quartzo de granulometria diferente ao do fundo matricial intraglobular e assemelhando-se à matriz interglobular.

O fundo matricial da matriz friável entre essas glóbulas é pouco poroso, compacto, mostrando apenas poucas ortocavidades (menos que 10%). Muitos domínios são isóticos, evidenciando a presença de hematita e uma forte segregação do ferro. Possivelmente, constituem ambientes mais confinados e, portanto, mais preservados dos processos de intemperismo, em que as mobilizações no seu interior são menos influenciadas, ou mesmo, pouco influenciam o horizonte petroplíntico como um todo. Essas glóbulas não mostram um córtex goethítico de degradação; no entanto, a presença freqüente de fraturas entre a “ponte” e as glóbulas (Figura 11) mostra que sua estrutura encontra-se em estádios iniciais de desmantelamento, liberando glóbulas individuais ao horizonte petroplíntico e retornando, assim, às suas condições iniciais de formação.

Degradação e formação dos ferricretes

Couças nodulares em estádio de desmantelamento originam os chamados pisolitos de degradação, caracterizados pela presença de córtex goethítico (Tardy, 1993). Segundo Beauvais & Colin (1993), correspondem ao último estádio de desenvolvimento dos ferricretes, onde se desenvolve um córtex marrom ou uma trama no entorno ou dentro dos nódulos hematíticos. As figuras 12 e 13 evidenciam essas feições de dissolução.

Sob microscópio ótico, essas glóbulas petroplínticas mostram uma coloração predominantemente amarelada no córtex, sugerindo dissolução e remoção de hematita, favorecendo a presença de goethita, a qual pode ser incorporada ao fundo matricial interglobular e contribuir para a pedogênese do solum sobrejacente durante a evolução dos perfis. Aproximadamente 40% das petroplintitas observadas no plano das lâminas mostram essas feições, caracterizando o estádio incipiente de desmantelamento da couça. Esse fato leva a pensar que as condições atuais divergem daquelas responsáveis pela gênese dos ferricretes no passado.

Podem-se atribuir essas diferenças a dois possíveis fatores, que devem estar associados ao

clima ou à litologia da Formação Adamantina. Inicialmente, pode-se imaginar que os horizontes petroplínticos tiveram sua origem em climas pretéritos, em condições paleoclimáticas mais contrastantes do que as atuais, provavelmente mais quentes, com estações bem definidas e um período seco prolongado, fatores esses fortemente apreçados, por muitos autores, como uma condição *sine qua non* na evolução das couças ferruginosas (Sivarajasingham et al., 1962; Tardy et al., 1991). Outra possível diferença em relação às condições atuais pode ser atribuída à litologia. Assim, a Formação Adamantina teria níveis com maiores teores de ferro, os quais teriam sido alterados completamente nas cotas mais elevadas da paisagem, fornecendo ferro para os atuais ferricretes petroplínticos.

CONCLUSÕES

1. Os ferricretes foram formados no limite superior de oscilação do lençol freático, onde condições mais oxidantes prevaleceram. A atual configuração lateral dos horizontes na seqüência estudada comprova a designação de “ferricretes de lençol freático” a esses materiais e evidencia a influência da rocha durante a segregação do ferro, através do controle do nível de oscilação do lençol freático.

2. Micromorfológicamente, as glóbulas mostram-se diferenciadas quanto à distribuição do esqueleto e do plasma. Algumas são predominantemente dominadas por esqueleto na fração areia muito fina, enquanto em outras predomina a fração média. Ainda existem glóbulas em que o esqueleto é mal selecionado, variando em granulometria. Contudo, a maioria mostra uma fábrica interna dominada apenas por volumes de plasma. Fatores pedo-lito-biológicos estão envolvidos nessa diversidade entre glóbulas num mesmo horizonte e que muitas vezes podem ser erroneamente interpretadas como de origem detrital.

3. As maiores glóbulas dos horizontes ferricretes, aqui identificadas como “ruiformes”, assemelham-se à uma fusão de glóbulas menores. Evidências micromorfológicas confirmam essa impressão, bem como elucidam sua gênese: aportes de ferro nos estádios finais ou posteriores à formação das petroplintitas possivelmente foram responsáveis pela fusão de glóbulas menores através de uma “ponte” ferruginosa interglobular.

4. Fatores climáticos ou associados à litologia podem ser responsáveis pela formação pretérita da petroplintita, os quais não se processam na paisagem atual, uma vez que há evidências de que os ferricretes estão se degradando.

Figura 10. Fotomicrografia mostrando uma glébulula plíntica do horizonte Cr (perfil P2). Diferentes domínios "cruzam" a glébulula, originando verdadeiros "corredores" que ora são preenchidos com plasma apenas (paleocanais biolóticos - P), ora com plasma e quartzo triado nas frações areia muito fina e silte (paleopedotúbulos - C). Luz normal - 2,5x.

Figura 11. Fotomicrografia mostrando o interior das glébululas "ruiniformes" do horizonte F. (Perfil P2). Nota-se a "ponte" (P) entre as glébululas, promovendo sua fusão. Luz normal - 2,5x.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à turma da Estação Experimental de Agronomia de Pindorama, especialmente aos colegas Dr. Antonio Lúcio Mello Martins e Dr. Luís Cláudio Paterno, pelo apoio logístico nos trabalhos de campo. À Prof. Dra. Selma Simões de Castro, pelas valiosas sugestões nas análises micromorfológicas.

Figura 12. Pisolito de degradação do horizonte petroplíntico do perfil P2. Luz normal - 2,5x.

Figura 13. Detalhes do córtex goethítico evidenciando o estágio de degradação das glébululas. Luz normal - 10x.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, M.A. & SANTOS, M.C. Morfologia e gênese de dois solos com plintita da Região Meio-Norte do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 9:287-296, 1995.
- BEAUVAIS, A. & COLIN, F. Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment. Chem. Geol., 106:77-101, 1993.
- BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G. & CLEMENTE, L. Estudio de las concreciones de un suelo de perfil complejo situado en la terraza del Guadalquivir de San Pablo (Sevilla). An. Edafol. Agrobiol., 29:477-483, 1970.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D & PASSOS, E. Estrutura o origem das paisagens tropicais e subtropicais: Intemperismo biológico, pedogênese, laterização, bauxitização e concentração de bens minerais. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996. 2v.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A. HUMBEL, F.X. & LUCA, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM Ser. Pédol., 19:309-351, 1982.
- BOURMAN, R.P. Modes of ferricrete genesis: evidence from southeastern Australia. Z. Geomorphol., 37:77-101, 1993.

- BOURMAN, R.P.; MILNES, A.R. & OADES, J.M. Investigations of ferricretes and related surficial ferruginous materials in parts of southern and eastern Australia. *Zeitschrift Für Geomorphologie*. Laterites, Some aspects of current research, 1987 p.1-24. (Supplementband, 64)
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. New York, Robert E. Krieger Publishing Company, 1976. 482p.
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solos para confecção de lâmina delgada. *B. Inf. SBCS*, 10:44, 1985.
- CASTRO, S.S. Micromorfologia de solos - Pequeno guia prático para descrição de lâminas delgadas. São Paulo, 1989a. 87p. Mimeografado.
- CASTRO, S.S. Sistema de transformação pedológica em Marília: B latossólicos e B texturais. São Paulo, 1989b, 274p. (Tese de Doutorado)
- COELHO, M.R. Caracterização e gênese de ferricretes desenvolvidos do arenito Bauru, Formação Adamantina (Ka), no município de Pindorama (SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998. 233p. (Tese de Mestrado)
- CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C. & FONTES, L.E.F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.
- DANIELS, R.B.; PERKINS, H.F.; HAJEK, B.F. & GAMBLE, E.E. Morphology of discontinuous phase plinthite and criteria for its field identification in the Southeastern United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:944-949, 1978.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Produção de Informação, 1999. 412p.
- FAO/UNESCO/ISRIC. Soil map of the world. Wageningen, ISRIC, 1994. 140p.
- IBANGA, I.J. The physical, chemical, and mineralogical properties of laterite samples formed in various environments. Raleigh, University of Raleigh, 1980. 120p. (Tese de Doutorado)
- JIMENEZ-RUEDA, J.R. & DEMATTÊ, J.L.I. Solos originários de lamitos da formação Marília (Grupo Bauru) da região de Monte Alto, SP. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:161-170, 1988.
- LADEIRA, F.S.B. Estudo micromorfológico de um Latossolo Roxo no município de Guaira - SP. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1995. 93p. (Tese de Mestrado)
- MARQUES Jr., J. Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto, SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995. 228p. (Tese de Doutorado)
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Terceira edição. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1996. 83p.
- LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. & DANIELS, R.B. Soil landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: Part I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:104-109, 1977a.
- LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. & DANIELS, R.B. Soil landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: Part II. Soil morphology, genesis and classification. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:109-115, 1977b.
- LEPSCH, I.F. & VALADARES, J.M.A.S. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Pindorama, SP. *Bragantia*, 35:13-39, 1976.
- McFARLANE, M.J. Laterite and Landscape. New York, Academic Press, 1976. 151p.
- McFARLANE, M.J. Laterites. In: GOUDIE, A. & PYE, K., eds. Chemical sediments and geomorphology. London, Academic Press, 1983. p.7-58.
- MILNES, A.R.; BOURMAN, R.P. & NORTHCOPE, K.H. Field relationships of ferricretes and weathered zones in southern south Australia: A contribution to 'Laterite' studies in Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 23:441-465, 1985.
- NAHON, D. Evolution of iron crusts in tropical landscapes. In: COLMAN, S.M. & DETHIER, D.P., eds. Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals. New York, Academic Press, 1986. p.169-191.
- ROQUIN, C.; PAQUET, H.; FREYSSINET, P.; BOEGLIN, J.L. & TARDY, Y. Lithodependence and homogenization of mineralogical and chemical composition of ferricretes. *Chem. Geol.*, 84:124-137, 1990.
- SIVARAJASINGHAM, S.; ALEXANDER, L.T.; CADY, J.G. & CLINE, M.G. Laterite. *Adv. Agron.*, 14:1-60, 1962.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J. & NETO SOBREIRO, A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no estado de São Paulo: Grupo Bauru. *R. Bras. Geoci.*, 10:177-235, 1980.
- TARDY, Y.; KOBILSEK, B. & PAQUET, H. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. *J. Afr. Earth Sci.*, 12:283-295, 1991.
- TARDY, Y. Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Paris, Masson, 1993. 459p.
- TARDY, Y. & NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-Goethite, Al-Hematite, and Fe⁺³-kaolinite in bauxites and ferricretes: An approach to the mechanism of concretion formation. *Am. J. Sci.*, 285:865-903, 1985.
- TARDY, Y. & ROQUIN, C. Geochemistry and evolution of lateritic landscapes. In: MARTINI, I.P. & CHESWORTH, W. Weathering Soils & Paleosols. Guelph, Elsevier, 1992. p.407-433.
- WRIGHT, V.P.; SLOAN, R.J.; GARCÉS, B.V. & GARVIE, L.A.J. Groundwater ferricretes from the Silurian of Ireland and Permian of the Spanish Pyrenees. *Sedim. Geol.*, 77:37-49, 1992.

