

MINERALOGIA E GÊNESE DE PERFIS PLÍNTICOS DESENVOLVIDOS DE ARENITO DO GRUPO BAURU

M.R. Coelho*; P. Vidal Torrado

*Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, CEP. 22460-000, Rio de Janeiro, RJ.
e-mail:mrcoelho@cnpq.embrapa.br

Professor do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ-USP. Caixa Postal 09,
CEP. 13.418-900, Piracicaba, SP.

Nas paisagens do norte e oeste do Estado de São Paulo, plintita e petroplintita constituem feições que se repetem com frequência sobre os arenitos da Formação Adamantina (Grupo Bauru). Com o objetivo de avaliar a mineralogia desses materiais e estudar alguns mecanismos envolvidos na sua gênese, selecionou-se dois perfis de solos representativos da paisagem local. O estudo foi conduzido na baixa meia encosta de uma vertente situada na Estação Experimental de Agronomia de Pindorama do Instituto Agrônomo de Campinas (Pindorama, SP). Geologicamente, a região situa-se sob domínio do Grupo Bauru, Formação Adamantina (IPT, 1981). Todo o preparo e tratamento das amostras para a determinação da composição mineralógica da fração argila desferrificada foram realizados de acordo com Jackson (1969). Os difratogramas de raios X foram obtidos em aparelho Philips, modelo PW 1010, dotado de tubo de ânodo de cobre, com filtro de níquel. Para a caracterização mineralógica dos óxidos de ferro, procedeu-se a metodologia modificada por Kämpf & Schwertmann (1982). Os óxidos de ferro concentrados foram analisados por difratometria de raios X (DRX), com o difratômetro, equipado com tudo de cobalto e filtro de ferro, sendo a lâmina montada em pó com 30% de quartzo moído. A determinação do grau de substituição isomórfica de Fe por Al nos óxidos de ferro foi realizada segundo Schwertmann et al. (1979). A relação R ($Hm/Hm + Gt$) foi estimada com base nas áreas dos reflexos da Hm e Gt (Resende et al., 1987). Procedeu-se a estimativa quantitativa dos óxidos de ferro utilizando-se o método da alocação proposto por Resende et al., 1987. Amostras indeformadas e selecionadas das glébulas foram submetidas ao exame em microscópio eletrônico de varredura. Com base nos resultados da mineralogia da fração argila, evidenciou-se que caulinita, mica e traços de gibbsita são os minerais da fração argila presentes nas glébulas e horizontes dos perfis estudados (difratogramas não mostrados). Através da avaliação da intensidade dos reflexos, bem como os teores de Si e Al extraídos por ataque sulfúrico (dados não mostrados), tem-se uma idéia do conteúdo relativo dos minerais silicatados e gibbsita na fração argila. Segundo essas observações, gibbsita está presente apenas em pequenas proporções e, principalmente, no solum e matriz interglébular, sugerindo que as condições gerais para estabilização dos minerais nestes solos são favoráveis a manutenção da caulinita em detrimento da gibbsita, e por isso, este último encontra-se em pequenas proporções. Os elevados teores de areia fina e muito fina presentes em todos os horizontes, a maioria deles contendo minerais primários intemperizáveis, podem liberar Si na solução do solo, o suficiente para inibir a formação de minerais gibbsíticos (Coelho, 1998). Hematita e goethita foram os únicos óxidos de ferro identificados com o tratamento das amostras com NaOH à quente (difratogramas não mostrados). No entanto, o mineral anatásio também foi concentrado e identificado em todos os horizontes e glébulas estudados. A tabela 1 revela os conteúdos de hematita (Hm), goethita (Gt), bem como o valor R ($Hm/Hm + Gt$) e o grau de substituição isomórfica nos óxidos de ferro (SIGt e SIHm). Valores de SIGt abaixo de $15 \text{ cmol}_c \text{ Al mol}^{-1}$ nas glébulas petroplínticas (Cc-N), sugerem que sua origem está associada a condições hidromórficas, tal como afirmam Fitzpatrick & Schwertmann (1982). Segundo os autores, em ambientes hidromórficos o ferro mobiliza-se preferencialmente nas formas reduzidas, enquanto o alumínio não tem capacidade de trocar de valência e, por isso,

sua mobilidade não é afetada pelas variações das condições de redox que se produzem nos meios de hidromorfia parcial. O Fe^{2+} move-se até as zonas do solo que apresentam maior aeração, como por exemplo, os macroporos situados entre os fragmentos de rochas dos horizontes saprolíticos aqui estudados, onde se produziria sua precipitação e formação das glébulas, sem que existisse nenhuma ou apenas poucas fontes de alumínio na sua proximidade. Examinando-se a tabela 1, observa-se que os valores de SIGt no solum, saprolito e matriz interglebular limitaram-se entre 6 e $30 \text{ cmol}_c \text{ Al mol}^{-1}$, enquanto os valores de SIHm variaram entre 1 a 13. Essas variações refletem as condições particulares dos horizontes durante a gênese dos óxidos de ferro e evolução dos solos e nódulos analisados. Nota-se que os níveis de substituição em Al na goethita da matriz interglebular (Cc-S) dos perfis são maiores que nas glébulas, bem como os horizontes texturais do perfil P2 mostram os maiores conteúdos de goethita aluminosa. Tais resultados indicam uma significativa disponibilidade de alumínio no ambiente durante a formação dos óxidos de ferro, pois, também hematita encontra-se mais aluminosa na matriz Cc-S do perfil P2 e nos horizontes texturais Bt1 e Bt2. O maior valor de SIGt no horizonte Bt1 (perfil P2) corresponde ao maior valor de SIHm, sugerindo uma formação simultânea dos óxidos (Gt e Hm) neste horizonte. A camada R do perfil P2 também apresenta um elevado conteúdo de SIGt. No entanto, hematita é relativamente pouco aluminosa, sugerindo, para o caso da goethita, uma formação contemporânea do mineral devido à elevada liberação do Al provindo da desestruturação da caulinita, através do mecanismo de ferrólise, tal como evidenciado por Coelho (1998) para o horizonte Cr e camada R do solo analisado. Considerando-se o mineral hematítico, os menores valores de substituição isomórfica sugerem uma origem pretérita para uma parte deste mineral na camada R, anterior à formação da goethita e em condições pedoambientais de menor disponibilidade de Al. Essa mesma interpretação é auferida para os horizontes saprolíticos do perfil P1 e possibilitam uma explicação parcial dos elevados conteúdos de hematita nessas porções inferiores do perfil, uma vez que as condições atuais são favoráveis à formação de minerais oxídicos hidratados. A maior umidade, bem como os baixos valores de pH nesses horizontes e camada (Coelho, 1998), propiciam a formação de goethita secundária em detrimento da hematita. Dos resultados e discussões enunciados acima, propõe-se aqui que parte da hematita formou-se sob condições de maiores potenciais de oxidação nos saprolitos e rocha do P2, quando o nível do lençol freático supostamente encontrava-se em cotas inferiores às atuais, possibilitando a desidratação da ferridrita para formas cristalinas de hematita (Kämpf & Schwertmann, 1983). No entanto, as mobilizações atuais de ferro, principalmente proveniente da degradação das glébulas petroplínticas, tal como constatado por Coelho (1998) para os perfis estudados, são responsáveis pela formação de goethita aluminosa nas porções inferiores dos perfis, tanto favorecida pela maior umidade, como pela presença e maior disponibilidade de Al trocável. Também, essas mobilizações possibilitaram a formação atual de alguma hematita nos macroporos dos horizontes saprolíticos e rocha, onde a atividade da água é baixa. O conteúdo dos óxidos de ferro na fração argila evidencia que as glébulas petroplínticas do perfil P2 são mais ricas nesses minerais oxídicos em relação as demais glébulas e horizontes. No entanto, observa-se que os óxidos ocupam apenas uma pequena parcela da fração argila dos solos e glébulas, sugerindo que grande parte desta fração é dominada por caulinita. Anatósio, ilita e pequenos conteúdos de gibbsita complementam a mineralogia das argilas dos materiais estudados. Analisando-se a relação R, nota-se os baixos valores relativos para as matrizes interglebulares dos horizontes plínticos e petroplínticos (em torno de 20 %) quando comparados aos demais horizontes e glébulas estudados. Isso sugere maior umidade nestes horizontes nodulares, favorecendo a formação de goethita. A maior porcentagem de argila como matriz de materiais cascalhentos (nódulos) de diferentes diâmetros, bem como a descontinuidade dos poros na transição entre o horizonte petroplíntico e o solum acima, possibilitam a permanência da água neste horizonte, uma vez que sua

retenção é maior e a perda por evaporação reduzida. Essa hidratação promove a desestabilização da associação entre a caulinita remanescente nas glébulas e a hematita (Beauvais & Tardy, 1993), estabelecendo condições adequadas à degradação das petroplintitas, bem como à mobilização dos elementos liberados, principalmente Fe^{2+} , aos horizontes saprolíticos e rocha abaixo, tal como evidenciado nos perfis.

Tabela 1. Valores de Hematita (Hm), Goethita (Gt), R (Hm/Hm + Gt) e de substituição isomórfica de ferro por alumínio na Hm (SIHm) e Gt (SIGt).

Horiz. ¹	Profund.	Hm	Gt	R	SIGt ²	SIHm ³
	m	-----g/kg-----		---%---	-----cmol _c Al mol ⁻¹ -----	
Perfil P1-PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário distrófico típico, textura arenosa/média esquelética. A moderado						
A	0,00-0,10	2,4	6,9	26	14	10
E	0,10-0,25	1,3	12,5	10	19	7
Cc-S	0,25-0,45	15,9	56,0	22	8	7
Cc-N	0,25-0,45	195,9	148,4	57	10	5
Cf-S	0,45-0,55	14,6	57,6	20	23	4
Cf-N	0,45-0,55	106,2	131,4	45	12	2
Cr	0,55-1,16	23,8	35,5	40	18	6
Crg1	1,16-1,40	16,0	22,7	41	nd ⁴	7
Crg2	1,40-1,80	7,0	9,0	44	11	7
Perfil P2-ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupático plíntico, textura arenosa/média. A moderado						
A	0,00-0,10	1,7	9,6	15	15	7
E	0,10-0,26	2,9	11,0	21	12	3
Bt1	0,26-0,38	5,4	22,9	19	30	13
Bt2	0,38-0,60	13,3	37,8	26	22	8
Cc-S	0,60-0,85	12,7	45,9	22	19	10
Cc-N	0,60-0,85	272,5	139,3	66	8	3
Cf	0,85-1,10	72,2	64,8	53	12	3
Cr	1,10-1,64	22,8	41,4	35	6	1
R	1,64-1,90	49,0	14,9	77	25	5

¹Cc-S e Cf-S: matriz interglébular dos horizontes petroplíntico (Cc) e plíntico (Cf) respectivamente; Cc-N e Cf-N: nódulos dos horizontes Cc e Cf respectivamente; Cf: horizonte Cf do perfil P2. Amostra homogeneizada (nódulos + matriz). ²SIGt: substituição isomórfica do Fe por Al na goethita. ³SIHm: substituição isomórfica do Fe por Al na hematita. ⁴nd: não determinado devido à pequena definição das linhas de difração.

As observações submicroscópicas de amostras indeformadas e selecionadas das glébulas plínticas e petroplínticas possibilitaram a identificação complementar de feldspatos potássicos e sódicos, cerianita e ilmenita. Dentre eles, os feldspatos potássicos são os mais comuns e mostram-se em diferentes estágios de intemperismo, predominando os fortemente intemperizados. A figura 1 mostra em detalhes o mineral se decompondo. Duas interpretações podemos inferir desta figura: a primeira refere-se ao desenvolvimento de cavidades de dissolução, as quais podem ser preenchidas por outros materiais na evolução das glébulas; a segunda elucida o desenvolvimento de alguns minerais gibbsíticos no interior dos nódulos. Nota-se a presença da gibbsita acima e nas extremidades do feldspato, sugerindo uma origem autigênica, proveniente da degradação direta do mineral feldspático. Minerais primários, tais como feldspatos e micas, foram indicados por muitos autores como constituintes comuns de nódulos e concreções ferruginosas. McFarlane (1976) afirma que os nódulos provenientes da

oscilação do lençol tem a habilidade de fossilizar internamente o estado de intemperismo do saprolito, possibilitando assim, a manutenção de minerais primários no seu interior. Portanto, a presença constante desses minerais no interior das glébulas petroplínticas estudadas evidenciam sua formação em horizontes saprolíticos, bem como sugerem a mobilização do Fe^{2+} da paisagem a montante e precipitação na zona de vadosa, com participação efetiva do lençol freático durante a gênese desses materiais. As seguintes conclusões podem ser evidenciadas: 1. Caulinita, hematita, goethita, mica, gibbsita e anatásio são os principais minerais da fração argila dos nódulos; 2. Feldspatos potássicos foram encontrados em diferentes estádios de intemperismo no interior dos nódulos, predominando os fortemente intemperizados. 3. A presença constante desses minerais potássicos é a principal evidência da origem das petroplintitas associadas à ferruginização dos horizontes saprolíticos. Outros minerais, como feldspato sódico, ilmenita e cerianita, também são componentes dos nódulos, embora menos expressivos; 5. Valores de substituição isomórfica de Fe por Al inferiores a $15 \text{ cmol}_c \text{ Al mol}^{-1}$ nas glébulas petroplínticas, apoiam a hipótese da influência do hidromorfismo na formação desses materiais; fato que, associado à presença constante de minerais alteráveis, consubstanciam a sua formação, supostamente relacionada a mobilização do Fe^{2+} a montante dos solos estudados e sua deposição na zona de vadosa durante a evolução da paisagem.

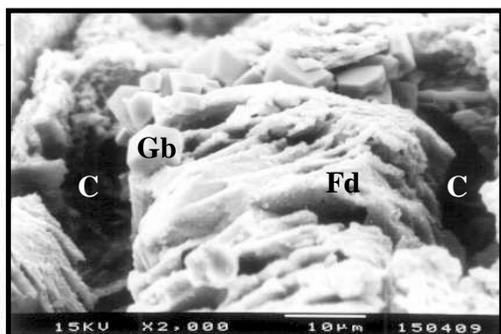


Figura 1. Imagem de MEV exibindo um feldspato potássico (Fd) e gibbsita (Gb) no interior de uma glébulas petroplíntica (perfil P2). Nota-se o avançado estágio de dissolução do feldspato, originando cavidades de dissolução (C) que podem ser preenchidas por outros minerais, bem como gibbsita *in situ* após remoção dos constituintes mais solúveis.

- BEAUVAIS, A. & TARDY, Y. Degradation and dismantling of iron crusts under climatic changes in Central Africa. *Chem. Geol.*, v.107, p.277-280, 1993.
- 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).
- FITZPATRICK, R.W. & SCHWERTMANN, U. Al- substituted goethite - An indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. *Geoderma*, 27:335-347, 1982.
- INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA - IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo, 1981. v.1. 126p.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis advanced course. 2.ed. Madison: published by the author, 1969. 895p.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, 29:27-39, 1983.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Miner.*, 30:401-408, 1982.
- McFARLANE, M.J. Laterite and Landscape. New York, Academic Press, 1976. 151p.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:17-23, 1987.
- SCHWERTMANN, U., FITZPATRICK, R.W., TAYLOR, R.M. & LEWIS, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. Part II: preparation and properties of Al-substituted hematites. *Clays Clay Miner.*, 27:105-112, 1979.