

Mineralogia da fração argila de solos localizados em ilhas no alto Rio Paraná, PR/MS

Clay mineralogy of soils located on islands in the upper Paraná River, PR/MS

Paulo Henrique Marques de Castro¹; Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame²; José Paulo Peccinini Pinese³

Resumo

As ilhas Mutum e Porto Rico fazem parte do arquipélago Mutum-Porto Rico, situado no alto Rio Paraná entre os municípios de Porto Rico, PR e Taquaruçu, MS. Os solos são formados por constituintes herdados dos materiais de origem, compostos orgânicos, e por vários minerais com diferentes graus de complexidade e estágios de intemperização. Entre os constituintes herdados dos materiais de origem, os mais ativos são denominados argilominerais, originados a partir do intemperismo ou da transformação dos minerais primários. Os argilominerais exercem papel chave no comportamento morfológico, químico, físico e hidráulico dos solos. Compreendem uma grande família de minerais, que podem ser classificados em diversos grupos, conforme a sua estrutura cristalina, tendo como principais os das caulinitas, ilitas e esmectitas. O objetivo deste trabalho foi realizar análises mineralógicas através de raios-X em oito pontos de coletas de solos nas ilhas Mutum e Porto Rico. Os dados mineralógicos foram gerados a partir do difratômetro de raios X da marca *Panalytical* e do software *X'pert Highscore Plus*. Os resultados obtidos permitem inferir que todos os solos analisados apresentaram um padrão de picos compreendendo ilita, caulinita e gibbsita. Alguns solos apresentaram ainda, picos característicos dos oxi-hidróxido de ferro.

Palavras-chave: Argilo-minerais. Difração de raios-X. Ilhas. Caulinita. Gibbsita.

Abstract

The Mutum and Porto Rico islands are part of the archipelago Mutum-Porto Rico, located in the upper Paraná River between the cities Porto Rico, PR and Taquaruçu, MS. The soils are formed by constituents inherited from parent materials, organic compounds, and various minerals with varying degrees of complexity and stages of weathering. Among the constituents inherited of the parent materials, the most active are called clay minerals, derived from the weathering or transformation of primary minerals. The clay minerals has a key role in behavior morphological, chemical, physical and hydraulic of soil. They comprise a large family of minerals that can be classified into several groups according to their crystalline structure, like the kaolinites, smectite and ilitas.

The aim of this study was to conduct mineralogical analyzes by X-ray in eight soils from the Mutum and

¹ Graduado e mestre em Geografia, Universidade Estadual de Londrina; paulocastro@uel.br

² Docente do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina- DGEO-UEL; vendrame@uel.br

³ Docente do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina- DGEO-UEL; pinese@uel.br

Porto Rico islands. The mineralogical data were generated from the *Panalytical* X-ray diffractometer and *X'pert Highscore Plus* software. The results show that all soils showed a pattern of peaks comprising illite, kaolinite and gibbsite. Some soils also had characteristic peaks of iron oxyhydroxide.

Key words: Clay minerals. X-ray diffraction. Islands. Kaolinite. Gibbsite.

Introdução

O solo é um corpo tridimensional formado na superfície terrestre, através da interação de cinco fatores: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo (SCHAETZL; ANDERSON, 2005). Dessa forma, as características dos solos dependem das inter-relações desses cinco fatores e cada um deles contribui de forma diferente no processo de formação do solo (REICHARDT; TIMM, 2008).

Os solos se originam de uma junção de materiais minerais e orgânicos que estão em constante transformação através da ação dos agentes do intemperismo, como a umidade, ventos, temperatura, organismos vivos, entre outros. É constituído por minerais primários, provenientes do material de origem, e por minerais secundários, originados a partir do intemperismo ou da transformação dos minerais primários. A maioria dos minerais primários e secundários do solo é composta por silicatos, por aluminossilicatos, e por óxidos e hidróxidos, cujo arranjo de seus íons depende do raio e da carga elétrica dos mesmos (ERNANI, 2008).

Os minerais da fração argila dos solos podem ser divididos em argilominerais, óxidos, hidróxidos e materiais amorfos. Nos solos não muito intemperizados, como a maioria dos que ocorrem em países de clima temperado, predominam argilominerais do tipo 2:1 (dois tetraedros de silício e um octaedro de alumínio); nos solos intemperizados, como a maioria dos que ocorrem em países de clima tropical, predominam os argilominerais do tipo 1:1.

Existem ainda os argilominerais interestratificados, que são formados pela superposição de uma mistura de camadas de diferentes argilominerais 2:1, ou de 1:1 e 2:1. Os mais abundantes argilominerais do tipo 2:1 são a vermeticulita e a esmectita (montmorilonita), enquanto que a caulinita pode ser considerada o argilomineral do tipo 1:1 mais encontrado (ERNANI, 2008). No mapeamento de solos do Paraná proposto por Bhering e Santos (2008), em escala 1:250.000; a maioria dos solos localizados em ilhas no alto Rio Paraná foram classificados como NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Distróficos. No entanto, Castro (2012) ao aumentar o nível de detalhamento em um mapeamento de escala 1:100.000, percebeu a ocorrência de demais classes de solos (figura 1), tais como: NEOSSOLOS FLÚVICOS Ta Distróficos¹ (RYvd), NEOSSOLOS FLÚVICOS Psamíticos (RYq) GLEISSOLOS HÁPLICOS Ta Distróficos (GXvd) e CAMBISSOLOS FLÚVICOS Ta Distróficos (CYvd).

Os NEOSSOLOS FLÚVICOS são solos recentes, pouco evoluídos e sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. São derivados de sedimentos aluviais, constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si. Quando Psamíticos apresentam textura arenosa (valores iguais ou superiores a 700 g.kg⁻¹ de areia) em todos os horizontes dentro de 120 cm em relação à superfície do solo.

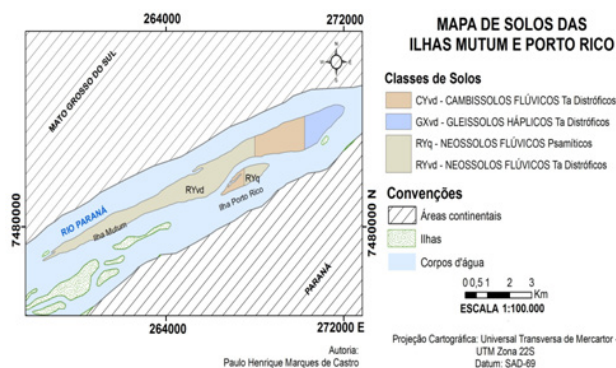
Os CAMBISSOLOS FLÚVICOS são um grupamento de solos com caráter flúvico, também

¹ O 3º nível categórico desta classe de solo (Ta Distrófico) ainda não está discriminada no SiBCS, onde consta, ainda no mesmo nível categórico, apenas NEOSSOLOS FLÚVICOS: Carbonáticos, Sódicos, Sálidos, Psamíticos, Ta Eutrófico, Tb Distrófico e Tb Eutrófico. No entanto, dados desta pesquisa apontam solos com alta atividade da fração argila (Ta) e baixa saturação por bases (Distrófico).

pouco desenvolvidos, com pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha, cromas mais fortes, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevados que os horizontes subjacentes. Os CAMBISSOLOS possuem o desenvolvimento de horizonte diagnóstico B incipiente em sequência a horizonte superficial de qualquer natureza (SANTOS, et al., 2013).

Os GLEISSOLOS são um grupamento de solos constituídos por material mineral com horizonte glei² imediatamente abaixo de horizonte A, ou de horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura; ou horizonte glei começando dentro de 50 cm da superfície do solo, além disso, não apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei (SANTOS, et al., 2013). No segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013) é classificado como HÁPLICO quando não se enquadra na classe dos TIOMÓRFICOS, SÁLICOS ou MELÂNICOS.

Figura 1 - Mapa de solos das ilhas Mutum e Porto Rico.



Fonte: os autores.

O objetivo deste trabalho foi identificar os minerais presentes nas quatro diferentes classes de solos proposta pelo mapeamento de Castro 2012, utilizando a difratometria de raios-X (DRX).

Localização da área

A porção do alto Rio Paraná compreende todo o trecho situado acima das Sete-Quedas de Guaíra - PR (agora inundado pelo reservatório de Itaipu), abrigando tributários importantes como os rios Grande, Paranaíba, Tietê, Paranapanema, Verde e Sucuriú (BONETTO, 1986; BRITSKI; LANGEANI, 1988). A bacia de drenagem do Alto Rio Paraná possui aproximadamente 900.000 km², incluindo a região Norte-Noroeste do Estado do Paraná, o Sul-Sudeste de Mato Grosso do Sul, a porção Ocidental do Estado de São Paulo, o Sudoeste de Minas Gerais, o Sul de Goiás e uma pequena área do Paraguai oriental adjacente a Mato Grosso do Sul (AGOSTINHO; HAHN; VAZZOLER, 1997).

A região de Porto Rico está situada no trecho fluvial compreendido entre a foz do rio Paranapanema e a foz do rio Ivinhema, na parte média do alto Paraná. Está imediatamente à jusante da barragem de Porto Primavera e cerca de duzentos quilômetros a montante do remanso do reservatório de Itaipu. As principais localidades na área são as cidades de Porto Rico e a vila de Porto São José, município de São Pedro do Paraná, ambas no Estado do Paraná, na margem esquerda do rio. No lado sul-matogrossense, as áreas urbanas distam mais de quinze quilômetros da área ribeirinha (AGOSTINHO; HAHN; VAZZOLER, 1997).

² É um horizonte mineral subsuperficial ou eventualmente superficial, com espessura de 15 cm ou mais, caracterizado por redução de ferro e prevalência do estado reduzido, no todo ou em parte, devido principalmente à água estagnada, como evidenciado por cores neutras ou próximas de neutras na matriz do horizonte, com ou sem mosqueados de cores mais vivas. Trata-se de horizonte fortemente influenciado pelo lençol freático e regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica (SANTOS, et al., 2013).

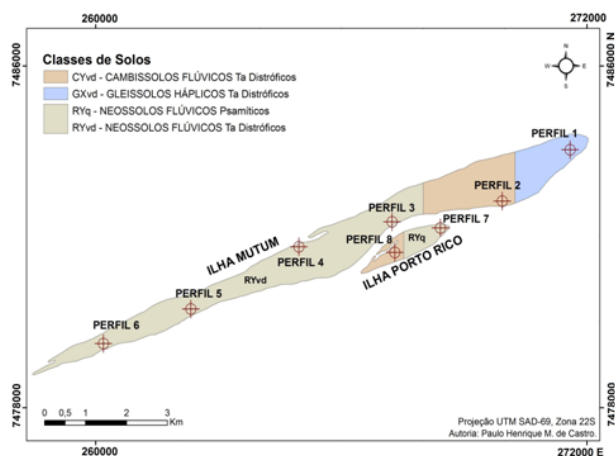
As ilhas Mutum e Porto Rico (figura 1) fazem parte do Arquipélago Mutum-Porto Rico, atualmente, constituído pelas ilhas Mutum, Porto Rico, Melosa e Pithi, que se situam no alto Rio Paraná entre os municípios de Porto Rico – PR e Taquaruçu – MS, localizando-se nas seguintes coordenadas geográficas: 22°44'27" e 22°48'18" Lat/Sul e 53°21'21" e 53°13'26" Long/Oeste.

A ilha Mutum apresenta 14,5 km de extensão e área de 1037 ha aproximadamente; a ilha Porto Rico tem cerca de 2,5 km de extensão e 93 ha de área; relevo plano (com superfície de topografia esbatida ou horizontal), com declives menores que 3%, e a superfície fica em média de dois a cinco metros acima do nível do Rio Paraná.

Metodologia

Para as análises mineralógicas, as coletas de solos foram realizadas em horizontes subsuperficiais de cada perfil de solo, que foram abertos nas ilhas Mutum e Porto Rico (Perfil 1 - 8) [figura2].

Figura 2 - Locais das coletas dos solos nas ilhas Mutum e Porto Rico.



Fonte: os autores.

As amostras, oito no total, foram secas ao ar e peneiradas utilizando peneira de malha de 2,0 mm. A fração argila das amostras foi individualizada da terra fina seca ao ar (TFSA) por meio de suspensão aquosa, submetida à dispersão mecânica e centrifugação (DONAGEMA, et al., 2011). Da fração argila, foram preparadas oito lâminas orientadas de cada amostra que, após secagem ao ar, foram analisadas por difração de raios-X (RESENDE et al., 2005).

Para determinação dos minerais do solo, utilizou-se o difratômetro da marca *Panalytical*, localizado no laboratório de Difração de Raios-X (DRX) da Universidade Estadual de Londrina, dotado de tubo de ânodo de cobre, e a unidade de força operada a 40 KV e 30 mA. Demais informações sobre as leituras das amostras de solo no difratômetro podem ser verificadas na tabela 1, de acordo com as especificações necessárias para cada parâmetro em relação a objetivo da pesquisa.

Tabela 1 - Parâmetros adotados para leitura no DRX.

Parâmetros	Especificações
Intervalo de ângulo	10-80
Passo angular (2θ)	0,05
Passo de tempo	1s
Divergence Slit	1°
Máscara	10mm Bracket
Reciveing Slit	1/8°
Anti Scatter Slit	1/4°
Monocromador	Grafite

Fonte: os autores.

Os resultados foram obtidos através de difratogramas e os minerais foram identificados com o auxílio do software *X'pert Highscore Plus*, também da marca *Panalytical*, que faz uma procura automática dos picos dos minerais.

Resultados e discussão

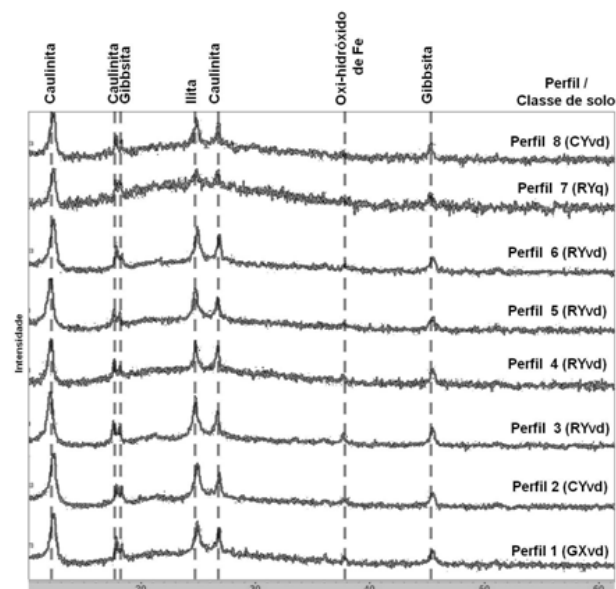
Na ausência de horizonte diagnóstico, como B incipiente (Cambissolos) ou horizonte glei (Gleissolos); foi realizada a análise mineralógica no horizonte mais subsuperficial dos solos. Desta maneira, nos Perfis 2 e 8 (CYvd) a análise mineralógica foi realizada com a fração argila do horizonte B; no Perfil 1 (Gxvd) com o horizonte glei; e nos demais (RYvd) com o horizonte mais subsuperficial (mais profundo). Na figura 3 está apresentado, esquematicamente, os picos dos difratogramas dos oito perfis de solos analisados nas ilhas Mutum e Porto Rico.

Analisando a figura 3 é possível verificar que todos os solos apresentaram um padrão de picos em relação a alguns minerais, como: caulinita, gibbsita e illita, além de oxi-hidróxido de ferro. Os argilominerais compreendem uma grande família de minerais, que podem ser classificados em diversos grupos, conforme a estrutura cristalina e propriedades semelhantes.

A estrutura dos argilominerais é constituída, em sua essência, de camadas de sílica e hidróxido de alumínio. A unidade cristalina da sílica é um tetraedro, com vértices ocupados por oxigênio e no centro há um silício; enquanto o hidróxido de alumínio é um octaedro, onde os vértices são ocupados por hidroxilas e o centro pelo alumínio (KER et al., 2012).

A caulinita é um argilomineral composto por alumínio, silício, oxigênio e hidroxila. Tem estrutura simples de camadas 1:1 em que não ocorrem substituições por outros íons, visto que não há deficiência de carga em sua estrutura. Sua fórmula estrutural ideal é $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, o espaço entre camadas é fixo e a distância basal de uma camada para outra é de 0,72 nm (DIXON, 1989). A formação da caulinita se dá, preferencialmente, em ambientes muito diluídos, com muita lixiviação ou presença de ácidos orgânicos, CO_2 , provenientes de compostos ricos em matéria orgânica, como é o caso do ambiente das ilhas Mutum e Porto Rico.

Figura 3 - Esquema com os picos dos respectivos minerais, a partir dos difratogramas gerados no software *X'Pert Highscore Plus*.



Fonte: os autores.

A gibbsita, $Al(OH)_3$, é uma das formas minerais do hidróxido de alumínio, e pode estar associada a feldspatos, caulinita e outros minerais aluminosos. É originada do intenso intemperismo químico (hidrólise total) de rochas ricas em feldspatos ou outros minerais aluminosos em clima quente e úmidos.

A participação da caulinita e da gibbsita nas características físicas dos solos já foi estudada por diversos autores, como: Resende (1985), Ferreira et al. (1999), Resende et al. (2007). A presença da caulinita e da gibbsita nos solos é condicionada, principalmente, pelo conteúdo de sílica, oriunda da evolução pedogenética. Desta forma, quando a dessilicação é moderada, a caulinita é formada, e quando é total, forma-se a gibbsita (CAMPOS, et al., 2008).

Os solos onde predominam os minerais de argila do grupo das caulinitas têm pouca capacidade de reter elementos nutrientes. Como há pouca substituição do átomo central tanto nos tetraedros de caulinita quanto nos octaedros de gibbsita, há pouco

desequilíbrio de cargas, gerando poucas cargas negativas, ou seja, pequena capacidade de troca de cátions (CTC).

Embora apresentem baixa CTC, esses dois minerais, segundo Ferreira et al. (1999), exercem influência sobre as propriedades físicas do solo, sendo responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura granular e importantes para manter as partículas do solo floculadas, além de dar maior estabilidade aos agregados. Altos teores de gibbsita, por exemplo, favorecem a agregação do solo na forma de estrutura granular fina e muito estável (CAMPOS, et al., 2008), que não é o caso dos solos descritos aqui, por se tratar de solos pouco evoluídos.

Na figura 3 é possível verificar a presença de picos de illita em todas as amostras de solo. Isto era esperado, uma vez que foi identificada em campo, através de lupa de aumento, a mica-muscovita, precursora da illita.

A illita, assim como a vermiculita, são argilominerais originados da intemperização das micas, cuja quantidade pode ser alta em solos relativamente jovens (ERNANI, 2008). Possui estrutura semelhante a da esmectita (2:1), diferindo por haver maior substituição do alumínio por sílica; diferem também da mica-muscovita por ter mais sílica e menos potássio. O diâmetro médio das illitas varia entre 0,1 e 0,3 microm, e é representada pela fórmula geral: $K_{1-1,5}Al_4[Si_{7-6,5}Al_{1-1,5}O_{20}](OH)_4$.

No processo de intemperização das micas, o K^+ que estava fixado no interior das entrecamadas sai e dá lugar ao Ca^{2+} ou ao Mg^{2+} . Como esses dois cátions têm diâmetro maior do que o do K^+ , as entrecamadas do mineral se afastam fisicamente, o que permite também a entradas de moléculas de água, inexistentes nas micas. A entrada e saída de moléculas de água nas entrecamadas conferem o caráter de expansividade ao mineral, também comum na montmorilonita. (ERNANI, 2008).

Diversos autores como, Caputo (1988), Ferreira et al. (2005), Pinto (2000), entre outros, vêm

procurando correlacionar os limites de consistência dos solos com os aspectos mineralógicos das argilas, pois a plasticidade, por exemplo, está relacionada à forma de suas partículas, que é específica do argilomineral existente no solo. No entanto, ainda que, os limites de liquidez e de plasticidade possam ser obtidos através de ensaios bastante simples, a interpretação física e o relacionamento quantitativo dos valores obtidos com os fatores de composição do solo, tipo e quantidade dos minerais, tipo de cátion adsorvido, forma e tamanho das partículas, composição da água é difícil e complexo.

Como o objetivo das análises mineralógicas realizada nos perfis de solos das ilhas Mutum e Porto Rico, era o de identificar os minerais, e não quantificá-los; o tempo de leitura de cada placa no difratômetro de raios x foi relativamente curto, dificultando a determinação exata do mineral existente no pico de oxi-hidróxido de ferro.

Os óxidos de ferro e alumínio, à semelhança dos argilominerais 1:1, têm baixa CTC e também contribuem pouco na retenção de nutrientes no solo. As cores avermelhadas e/ou amareladas de boa parte dos perfis analisados nas ilhas, como, por exemplo, no Perfil 3 (RYvd), se deve a presença, em quantidades variáveis, dos oxi-hidróxidos de ferro. Como a hematita (óxido de ferro) é mais comum em ambientes menos úmidos e pobres em matéria orgânica, e a goethita (oxi-hidróxido de ferro), por outro lado, forma-se preferencialmente em ambientes mais úmidos, de drenagem mais fraca e ricos em matéria orgânica, como ocorre nas ilhas Mutum e Porto Rico, provavelmente os picos de oxi-hidróxido de ferro, identificados nos difratogramas, sejam de goethita.

A goethita é um dos minerais da fração argila mais encontrados em solos de clima tropical e em quase todos os tipos de solos nas mais diversas regiões climáticas do globo. Nos locais onde predomina, a goethita imprime aos solos a coloração amarela ou bruna bastante encontrada nos solos brasileiros. Em função dos vários tipos de hidroxila, a morfologia

e as faces expostas desse mineral são importantes no desenvolvimento de cargas em ambiente aquoso. O grupamento OH possui um par de elétrons junto com um átomo de hidrogênio dissociável, o que permite reagir tanto com ácidos quanto com bases, dando aos óxidos de ferro, em geral, um caráter anfótero (CORNELL; SCHWERTMANN, 1996).

Dentre esses quatro principais minerais da fração argila (caulinita, gibbsita, ilita e goethita) identificados nos solos das ilhas Mutum e Porto Rico, é possível observar nos difratogramas que a intensidade dos picos se dispõe de forma semelhante, com exceção dos picos de óxido-hidróxido de ferro, provavelmente correspondentes a goethita, que estão mais visíveis nos perfis 1, 3 e 7, e praticamente ausente nos demais.

Os difratogramas dos perfis 7 e 8, correspondentes a ilha Porto Rico, indicam a existência de ruído com maior intensidade. Nestas amostras, a relação entre a intensidade do pico e o ruído é muito pequena, por isso, os espectros estão espessos que os demais. Isso demonstra que as amostras possuem pouco material cristalino, provavelmente por se tratarem de solos arenosos. O perfil 7 - NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico, por exemplo, apresenta valores >700 g. kg^{-1} de areia, de maneira que a maior parte do material cristalino encontra-se na fração areia, e não na fração argila.

Conclusões

Os resultados obtidos evidenciaram que todos os solos analisados apresentaram um padrão de minerais compreendendo ilita, caulinita e gibbsita.

Alguns solos apresentaram ainda picos característicos dos oxi-hidróxidos de ferro, no entanto, não foi possível identificar qual tipo (hematita, goethita, magnetita, lepidocrocita), pois o tempo de leitura utilizado no difratômetro de raios-X não foi suficiente para o detalhamento dos picos desses minerais.

Referências

- AGOSTINHO, A. G.; HAHN, N. S.; VAZZOLER, A. E. A. M. *A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: EDUEM, 1997. 460 p.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. *Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada*. Rio de Janeiro: IAPAR, 2008. 74 p.
- BONETTO, A. A. *The Paraná river system: the ecology of river systems*. São Paulo: Springer, 1986.
- BRITSKI, H. A.; LANGEANI, F. *Pimelodus paranaensis, sp.n., um novo Pimelodidae (Pisces, Siluriformes) do Alto Paraná, Brasil*. *Revista brasileira de zoologia*, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 409-417, 1988.
- CAMPOS, P. M.; LACERDA, M. P. C.; PAPA, R. A.; GUIMARÃES, E. M.; COSTA NETO, F. *Difratometria de raios X aplicada na identificação de gibbsita e caulinita em latos solos do Distrito Federal*. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS 2., 2008, Brasília. *Anais...* Brasília, 2008. p. 01-07.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988. 234 p.
- CASTRO, P. M. C. *Caracterização e mapeamento em escala 1:100.000 dos solos das ilhas Mutum e Porto Rico, alto rio Paraná, PR/MS*. 2012. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses*. New York: VHC, 1996. 573p.
- DIXON, J. B. *Minerals in soil environments*. Madison: Soil science society of America, 1989.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 230 p.

ERNANI, P. R. *Química dos solos e disponibilidade de nutrientes*. Lages: Paulo Ernani, 2008. 230p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos na região sudeste do Brasil. *Revista brasileira de ciência do solo*, Campinas, v. 23, p. 507-514, 1999.

FERREIRA, R. C.; FALEIRO, H. T.; FREIRE, W. J. Desempenho físico-mecânico de solo argiloso estabilizado com cal e silicato de sódio visando a aplicação em estradas rurais. *Pesquisa agropecuária tropical*, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 191-198, 2005.

KER J. C.; CURI, N. SCHAEFER, C. E. G. R.; TORRADO, P. V. *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2012. 346 p.

PINTO, C. S. *Curso básico de mecânica dos solos, em 16 aulas*. São Paulo: Oficina de textos, 2000. 247 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri: Manole, 2008. 478 p.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe agropecuário*, Belo Horizonte, v. 11, p. 3-18, 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. *Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações*. Lavras: Ufla. 2005. 192 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5. ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. *Soils: genesis and geomorphology*. New York: Cambridge University Press, 2005. 827 p.

Agradecimentos

Ao CNPQ/CAPES e Fundação Araucária pelo apoio financeiro as pesquisas e projetos no alto Rio Paraná (9527/06; 13015/08 e 14354/09).

*Recebido em 13 Outubro 2012 – Received on October 13, 2012.
Aceito em 7 Julho, 2014 – Accepted on 7 July, 2014.*