

# A ANÁLISE MORFO-ESTRUTURAL COMO UMA FERRAMENTA PARA A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS NOS CERRADOS<sup>1</sup>

PEDRO L. de FREITAS<sup>2</sup>, PHILIPPE BLANCANEUX<sup>3</sup> e ROLAND MOREAU<sup>4</sup>

## RESUMO

A análise morfo-estrutural é proposta como um método para caracterização da condição estrutural do solo, indicadora da sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris nos Cerrados. Baseado na caracterização morfológica do estado estrutural, o método visa à verificação dos efeitos da utilização agrícola dos solos e à racionalização na determinação de suas características químicas, físicas e da dinâmica da matéria orgânica.

O método constitui uma ferramenta para diagnóstico do impacto de diferentes sistemas de manejo e de culturas, e para identificação de processos de degradação do solo, além de ser útil em experimentos conduzidos em propriedades rurais ou de longa duração em estações experimentais.

**Palavras-chave:** Condição estrutural, unidades pedológicas homogêneas.

## ABSTRACT

### Morpho-structural analysis as a tool for the evaluation of agricultural system sustainability in tropical Savannas

The morpho-structural analysis is proposed as a method for the characterization of soil structural condition, an indicator of agricultural system sustainability in tropical Savannas. Based on the morphological characterization of soil structure, the main application of the method is in the study of agricultural use effects, leading to more rational chemical, physical and organic matter dynamic determinations.

The method is an important tool for the diagnosis of agricultural system impacts and the identification of soil degradation processes. It is also essential for the verification and explanation of different management systems in on-farm conditions or in long term-trials.

**Additional index words:** Structural condition, homogeneous pedological units.

## INTRODUÇÃO

A região de Cerrados representa aproximadamente 20% da superfície do território brasileiro. Esta região, distribuída

de maneira heterogênea e descontínua, possui clima característico de região tropical subúmida, com precipitação média anual de 1 500 mm, concentrada durante os meses de outubro à abril. Os solos mais frequentes e mais utilizados nesta

<sup>1</sup> Trabalho realizado como parte das atividades propostas pelo acordo de cooperação entre EMBRAPA-CNPS e ORSTOM, que objetiva a análise dos fatores e mecanismos que provocam modificações na estrutura dos Latossolos dos Cerrados brasileiros.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Ph.D., EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Pedólogo, Doutor, ORSTOM / EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, ORSTOM/LCSC, B.P.5045, 34032, Montpellier, França.

região são os latossolos, muito intemperizados, com uma capacidade de troca catiônica fraca, acidez elevada, uma forte capacidade de adsorção de fósforo e, em consequência, uma fraca fertilidade natural (Blancaneaux *et al.*, 1994).

Nas áreas não exploradas, esses solos apresentam características físicas favoráveis, como profundidade, friabilidade e porosidade que, associadas ao relevo, conferem elevada potencialidade para a agricultura mecanizada intensiva, após correção de suas deficiências químicas. No entanto, de sua incorporação ao processo produtivo decorrem modificações do solo, que se manifestam por degradação estrutural importante, uma diminuição do teor de matéria orgânica e uma evolução desfavorável das propriedades físico-hídricas.

Os sistemas agrícolas convencionais, utilizados na região de Cerrados, são tidos como responsáveis pela redução da capacidade produtiva das culturas, resultada da utilização intensiva e contínua de implementos agrícolas, quase sempre impróprios. A adoção de sistemas alternativos, como o plantio direto na palha, associados a outras práticas agroecológicas (rotação de culturas, culturas de cobertura, manejo integrado de pragas, doenças e ervas daninhas, utilização racional de pastagens, etc.) é apresentada como uma opção para uma produção agrícola sustentável nos Cerrados.

Para viabilizar a utilização dessas práticas é necessário o aperfeiçoamento de técnicas de manejo do solo e das culturas (Freitas & Blancaneaux, 1992). Também, é necessária a proposição de métodos alternativos para a caracterização da condição estrutural do solo, vista como um indicador da sustentabilidade dos sistemas propostos, especialmente em relação às características físicas, químicas e da dinâmica da matéria orgânica. Nesse contexto, a análise morfoestrutural é proposta como uma ferramenta que permite o estudo dos efeitos da utilização agrícola dos solos dos Cerrados, a partir do conhecimento detalhado de seu estado estrutural e da racionalização das determinações e interpretações de suas características.

O método, adaptado e proposto por Blancaneaux *et al.* (1991) a partir dos princípios de descrição de perfis pedológicos e do perfil cultural (Gautronneau & Manichon, 1987), se baseia na identificação morfológica (análise estrutural) de diferentes compartimentos ou horizontes pedológicos, que compreendem um conjunto bem definido de Unidades Pedológicas Homogêneas (U P H). O objetivo é a caracterização morfo estrutural e físico-hídrica dos diferentes compartimentos, reconhecidos durante o estudo de perfis representativos de diferentes situações de manejo do solo e das culturas, com ênfase ao estado de desenvolvimento estrutural, à atividade biológica, e ao desenvolvimento e orientação dos sistemas radiculares. O conjunto dos resultados, confirmados por diversas determinações realizadas no campo (penetrometria, infiltração de água e perfil hídrico), permite o estabelecimento das relações entre a condição es-

trutural do solo e o desempenho das culturas.

A descrição é complementada por diferentes determinações em laboratório, realizadas em amostras representativas, considerando as variações laterais existentes, tais como: a) caracterização dos constituintes do solo, incluindo acidez, reservas minerais, complexo de troca catiônica, complexo orgânico (C, N e frações de matéria orgânica), granulometria e mineralogia; b) organização dos componentes do solo pelo exame de agregados e de lâminas delgadas; c) caracterização do espaço poral (porosidade total e da distribuição de tamanho de poros) realizada por diferentes métodos complementares, como a curva de retenção de água, intrusão de mercúrio, curva de retração e micromorfologia; d) estabilidade da estrutura, pela determinação da distribuição de agregados estáveis em água, e da argila naturalmente dispersa (Freitas & Blancaneaux, 1994; Braudeau, 1993).

Visando a discutir a viabilidade de utilização do método de análise morfo estrutural, uma série de resultados são apresentados, assim como algumas interrelações estudadas, tendo como referência diferentes situações, como vegetação natural, pastagem de longa duração e sistemas convencional e alternativo de manejo do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidas áreas em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso distrófico, relevo suave ondulado com as seguintes situações:

1. C E R (cerrado): vegetação de campo-cerrado natural antropizado com a introdução de bovinos na estação seca (Estação Experimental F. M. Carneiro / EMGOPA).

2. P A L (pastagem longa duração): pastagem de *Brachiaria brizantha*, cinco anos após renovação, com manejo racional evitando sua degradação (Estação Experimental de Senador Canedo / EMGOPA).

3. C C L (cultura convencional): cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*) irrigado (pivô-central), após cinco anos de sucessão milho-feijão, com utilização de grade pesada (profundidade de 10 a 15 cm) e grade niveladora, com incorporação de herbicida (trifluralina).

4. P D (plantio direto): plantio direto da cultura de feijão irrigado (mesma condição que CCL) sobre resíduos de milho, com aplicação de herbicida não seletivo, pós-emergente.

Para as situações CER e PAL foram selecionadas áreas representativas, com histórico de manejo conhecido; enquanto que, para CCL e PD, parcelas em experimento conduzido pelo C N P S - EMBRAPA, antiga Coordenadoria Regional do Centro-Oeste, na Estação Experimental F. M. Carneiro-EMGOPA em Goiânia (GO). Na escolha do local para descrição do perfil foram realizadas observações detalhadas em cada área em relação ao ambiente geo-morfo-pedológico e à cobertura vegetal (Blancaneaux *et al.*, 1991).

TABELA 1 - Descrição morfo-estrutural simplificada dos solos nas diferentes situações estudadas.

		CER		PAL		CCL		PD	
Situação de referência		CERRADO NATURAL		PASTAGEM LONGA DURAÇÃO		CULTURA CONVENCIONAL		PLANTIO DIREITO	
Cobertura		Vegetação Natural		<i>Brachiaria brizantha</i>		Feijão Irrigado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )		Feijão Irrigado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	
Compartimentos ou Horizontes Pedológicos	I II III IV V	A <sub>1</sub> : 0 - 8 cm A <sub>2</sub> : 8 - 30 cm BA: 30 - 56 cm Bw: 56 - 100 cm	Ap <sub>1</sub> : 0 - 5 cm Ap <sub>2</sub> : 5 - 25 cm BA: 25 - 45 cm Bw: 45 - 100 cm	Ap <sub>1</sub> : 0 - 5 cm Ap <sub>2</sub> : 5 - 12 cm AB: 12 - 30 cm BA: 30 - 50 cm Bw: 50 - 100 cm	Ap <sub>1</sub> : 0 - 8 cm Ap <sub>2</sub> : 8 - 25 cm AB: 25 - 32 cm BA: 32 - 55 cm Bw: 55 - 100 cm				
Manchas		em A <sub>2</sub> (concentração de matéria orgânica)	-	em AB (mistura de Ap <sub>2</sub> e BA)	em AB e BA (mat. orgânica localizada)				
Estado Estrutural <sup>1</sup>	I II III IV V	<b>Grumoso</b> (solto) <b>Bl. subang.</b> (frágil) [subangular] <b>Bl. subang.</b> (frágil) [granular] <b>Bl. subang.</b> (frágil) [granular]	<b>Grumoso</b> (solto) <b>Bl. subang.</b> (frágil/moder.) [bl. subangul.] <b>Bl. subang.</b> (frágil/moder.) [granular] <b>Bl. subang.</b> (frágil) [granular]	<b>Bl. subangular e grumoso</b> [grumoso] <b>Bl. subang.</b> (moderada) [subangular] <b>Bl. angular</b> (moderada) [angular] <b>Bl. angular</b> (moderada) [granular] <b>Bl. subangular</b> (frágil) [granular]	<b>Bl. subangular e grumoso</b> [grumoso] <b>Bl. subang.</b> (moderada) [subangular / angular] <b>Bl. subangular</b> (moderada) [granular] <b>Bl. subangular</b> (frágil) [granular] <b>Bl. subangular</b> (frágil) [granular]				
Porosidade		muito poroso (todo o perfil); poros finos/médios em A <sub>2</sub> ; finos em BA (raízes e atividade biológica); finos em Bw	muito poroso; finos/médios em Ap <sub>2</sub> (raízes) e em BA; finos em Bw	muito poroso em Ap <sub>1</sub> e Ap <sub>2</sub> ; poroso em AB (finos/médios - ativ. biológica); muito poroso em BA e em Bw (finos)	muito poroso; finos/médios até 32 cm (ativ. biológica); finos abaixo.				
Raízes		<b>muito freqüente e sem orientação até 30 cm;</b> comum, finas e verticais abaixo	<b>muito freqüente e sem orientação até 45 cm;</b> comum, finas e verticais abaixo	<b>muito freqüente e horizontal até 12 cm;</b> concentrada na linha de semeadura; poucas, finas e verticais em AB (em fissuras)	<b>muito freqüente e vertical até 25 cm</b> (finos/médios); comum, finos e verticais abaixo				
Matéria Orgânica		forte, decomposta e humificada até 30 cm, comum abaixo	forte, decomposta ou não (raízes) até 25 cm, humificada abaixo	forte e em decomposição até 12 cm; muito pouco e humificada abaixo	forte e em decomposição na superfície; forte e decomposta até 32 cm.				
Atividade Biológica		muito forte até 8 cm; forte até 56 cm e comum abaixo	muito forte até 25 cm; forte e localizada abaixo	comum até 12 cm, pouco abaixo	muito forte até 70 cm				
Observações	compactação enraizamento gerais variação lateral	compartimentos não compactados concentrado em A <sub>1</sub> e A <sub>2</sub> macro-estrutura muito frágil em todo o perfil sem variação lateral	compartimentos não compactados; forte coesão em BA forte enovelamento em Ap <sub>1</sub> macro-estrutura de BA e Bw muito frágeis sem variação lateral importante	compactação forte em AB (12 a 30 cm) concentração na linha de semeadura torrões compactados em Ap <sub>2</sub> variação lateral devido à linha de semeadura	pouco compactado (forte coesão em AB) nodulação forte variação lateral devido à linha de semeadura				
Resist. à penetração (micro-penetrômetro horizontal)	I II III IV V	Valor Uv 3,5 22 5,0 30 13,0 22 7,3 30	Valor Uv 6,8 34 11,8 28 5,4 30	Valor Uv 8,2 34 90,3 33 28,3 30 5,4 30	Valor Uv 20,1 34 8,8 38 4,0 30				

<sup>1</sup> anotação do tipo (em negrito) e grau de desenvolvimento (entre parênteses) das UPHs (macroestrutura), e do tipo de sub-estrutura [entre chaves]

<sup>2</sup> média de cinco leituras - valores em kg/cm<sup>2</sup> e umidade volumétrica (Uv) em cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O / cm<sup>3</sup> solo seco.

## RESULTADOS

Os diferentes aspectos observados durante a análise morfo estrutural são apresentados, de forma simplificada, na Tabela 1. Considerando o histórico de uso e de manejo de cada área, a condição de vegetação natural foi selecionada como base para evidenciar importantes modificações das características do solo pela descrição do estado da macro estrutura. Esta se apresenta frágil em CER, evoluindo para um estado de melhor definição das UPH sob pastagem (PAL) e sob cultivo intenso (CCL e PD). O tipo de UPH e a resistência à penetração evidenciam um aumento importante de coesão em AB sob manejo convencional (CCL), mais fraca em  $A_p_2$  no sistema alternativo (PD) e sob pastagem (PAL). Este aspecto define o comportamento do solo sob diferentes condições de umidade durante o período de crescimento das culturas, podendo significar uma melhoria da condição estrutural.

Constituem também indicadores importantes da condição estrutural do solo a presença de diferentes formas de matéria orgânica, indicada pela cor (bruna para A,  $A_p$  e AB, vermelha para BA e Bw), a presença e orientação de raízes e de porosidade, a intensidade da atividade biológica, além da observação da intensidade e estabilidade da micro estrutura.

A confirmação das observações foi realizada em amostras representativas coletadas em horizontes selecionados. A caracterização da distribuição de volumes de sólidos (baseada na textura e densidade aparente) e de vazios (baseada na curva de retenção de água) é apresentada na Figura 1. As diferenças mais importantes são observadas no volume total de poros e de poros de diâmetro equivalente ou maior que 50  $\mu\text{m}$ , responsáveis pela aeração e drenagem rápida. Comparando as situações, é possível observar um adensamento natural nos horizontes superficiais ( $A_1$  e  $A_2$ ) em CER, o qual se identifica com o cultivo (PAL, CCL e PD).

Uma determinação mais detalhada do espaço poral foi possível com a intrusão de mercúrio em pequenos agregados (2 a 3  $\text{cm}^3$ ), apresentada na figura 2 pelo espectro de porosidade (incremento de volume por classe de diâmetro de poros). Identificam-se três classes de porosidade: a) a intra-microagregados (0,006 a 0,2  $\mu\text{m}$ ), referente aos poros originados do arranjo de constituintes finos (argila, óxidos e compostos orgânicos), diferente apenas em PAL, que apresenta relação argila/areia fina mais baixa; b) a inter-microagregados, resultante da organização de elementos grosseiros e micro-agregados (0,2 a 10  $\mu\text{m}$ ); c) as cavidades, fissuras e canais de atividade biológica (10 a 400  $\mu\text{m}$ ), responsáveis pela aeração, drenagem e crescimento de raízes. Nessa última, encontram-se as diferenças mais importantes quando comparados os horizontes superficiais ( $A_p_2$  e AB) e sub-superficiais, com ênfase aos espectros encontrados em CER.

O estudo do espaço poral, complementado com observações micro morfológicas, permitiu verificar uma concordância com os aspectos descritos na análise morfo estrutural (Tabela 1). Um exemplo é o adensamento observado nas situações sob pastagem e sob cultivo intensivo. A compactação descrita em CCL foi confirmada como sendo causada por

uma forte coesão do solo em AB, com as mesmas características do espaço poral de outras situações. Em PAL e PD observa-se uma coesão mais fraca que a associada à continuidade de poros e à maior espessura de  $A_p_2$ .

A organização do solo sob cultivo intensivo irrigado sugere que sistemas alternativos, como o plantio direto (PD), podem conduzir a uma melhor condição estrutural do solo, expressa agronomicamente pelo melhor desempenho das culturas instaladas em relação à produtividade (Teixeira *et al.*, 1995; Blancaneaux & Freitas, 1995).

## CONCLUSÕES

O estudo realizado nessas quatro situações de manejo apresentadas mostra que a análise morfo estrutural permite uma melhor apreciação das modificações estruturais do solo. Constitui, portanto, uma importante ferramenta para a avaliação de efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo e das culturas, permitindo a compreensão das diferenças de comportamento sob cultivo e sob diferentes cenários climáticos.

Ao lado da organização do solo, o método inclui a observação detalhada do crescimento de raízes e da atividade biológica, que, uma vez reunidas, constituem uma importante ferramenta para o diagnóstico do impacto de sistemas agrossilvipastoris nas características dos solos e para a identificação dos processos de degradação estrutural. Por consequência, constitui um importante indicador da sustentabilidade desses sistemas, em especial quando envolvem o uso de práticas agro ecológicas alternativas.

Ressalta-se a importância da análise para a identificação dos diferentes compartimentos do solo, permitindo uma amostragem mais representativa e uma melhor interpretação de resultados. O método mostra-se útil para a verificação e compreensão dos efeitos de diferentes sistemas agrossilvipastoris em experimentos conduzidos em propriedades rurais, assim como em experimentos de longa duração, viabilizando as novas abordagens propostas para a pesquisa agropecuária.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração, entre outros, dos pesquisadores e técnicos pela realização das determinações analíticas: Wilson Santana de Araujo, Washington de O. Barreto, Marie Elisabeth C.C. Melo, José Lopes de Paula, e Daniel Vital Peres (CNPS-EMBRAPA, Rio de Janeiro, RJ); Hélio Afonso de Menezes (EMGOPA, Senador Canedo, GO); J. Fardoux, E. Gavinelli; M.C. Larry-Larrouy, e J-C. Marcourel (LCLC/ORSTOM, Montpellier, França); M. Fortier (Lab. Physique du Sol/CIRAD, Montpellier, França); G. Bellier e J. Dellariviere (LFS/Hydrophysique/ORSTOM, Bondy, França); e, Dalmiron Pereira de Oliveira (Bolsista, Estudante Eng. Agrônoma, UFG-EA, Goiânia, GO).

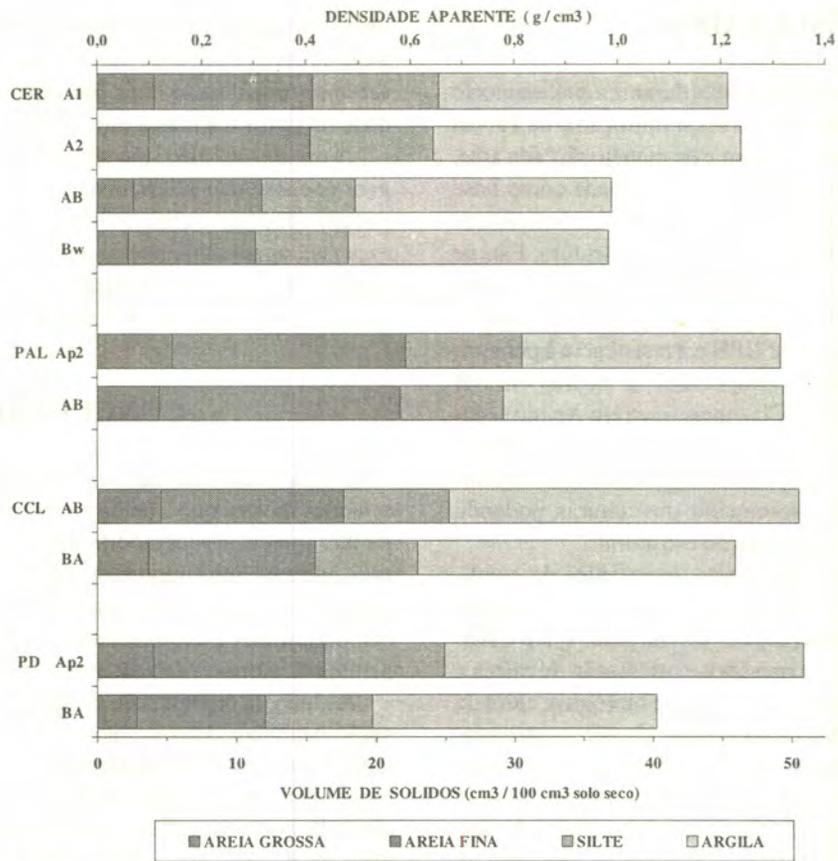
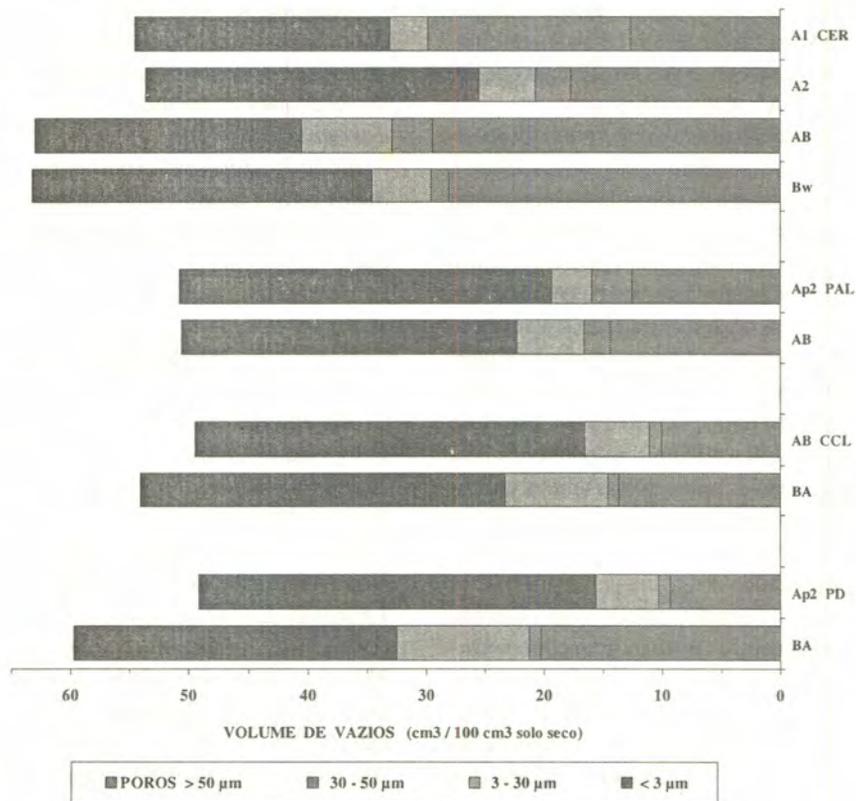


FIG. 1 - Distribuição de volume de determinada em cilindros de 100 cm<sup>3</sup>



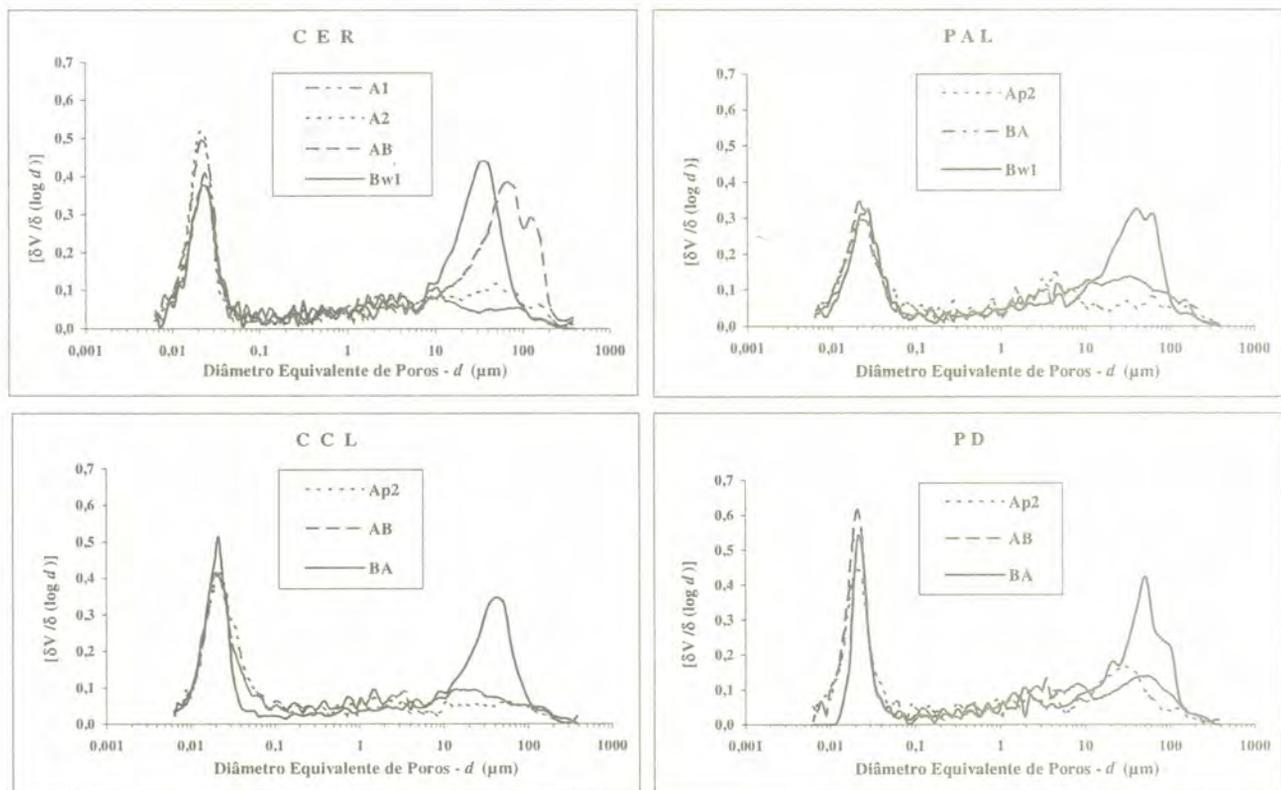


FIG. 3 - Espectros de porosidade obtidos pela técnica de intrusão de mercúrio.

## LITERATURA CITADA

- BLANCANEUX, P.; FREITAS, P.L. de. Utilisation de l'analyse morphostructurale dans les recherches agropédologiques développées dans les Cerrados du Brésil Central. Un exemple d'application: Le semis direct sur la paille comme système cultural alternatif viable. *In: Structure et Fertilité des Sols Tropicaux*. Montpellier: ORSTOM, 1995. **Résumé** du 2eme. Réunion du Groupe Thématique, ORSTOM, 1994.
- BLANCANEUX, P.; P.L. de FREITAS; R.F. AMABILE. Sistematização e adaptação da metodologia para caracterização do perfil cultural. *In: REUNIÃO DE TRABALHO PARA CORRELAÇÃO DOS ESTUDOS EM PERFIL CULTURAL*. Londrina: UEL/CCA, 1991.
- BLANCANEUX, P.; FREITAS, P.L. de; AMABILE, R.F.; CARVALHO, A.M. de. Le "zerotillage" comme pratique de conservation des sols sous végétation de "cerrados" du Brésil. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie, Spécial Erosion*, Montpellier, 1994 (no prelo).
- BRAUDEAU, E. Mesure automatique de la rétraction d'échantillons de sol non remaniés. *Sci. du Sol*, v.25, n.2, p.85-93. 1993.
- FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, P. Sistemas agroecológicos integrados. *Informativo AEAGO*, Goiânia, v.1, n.3, p.2, 1992.
- FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, P. Estrutura e porosidade do solo. *In: PUIGNAU, J. ,ed., Metodologias para investigacion en manejo de suelos*. Montevideo: IICA-PROCISUR, 1994. (Diálogo/IICA-PROCISUR, 39). p. 25- 42.
- GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. *Guide méthodologique du profil cultural*. Paris: Geara et Ceref, 1987. 71 p.
- TEIXEIRA, S.M.; FREITAS, P.L. de; LANDERS, J.N.; BLANCANEUX, P.; MILHOMEN, A. Les effets économiques et pédologiques du semis direct dans les savanes brésiliennes Cerrados. Une technique agricole qui améliore la durabilité d'un système cultural. *In: L'environnement Humain de L'érosion*. Paris: ORSTOM, 1994. p. 300-316. **Résumé** du Journée du Réseau Erosion, ORSTOM, 1995.