

## A utilização de análise estatística multivariada, com uso da técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado para mapeamento dos materiais inconsolidados da bacia do ribeirão Ponte de Pedra (MT)

J.G. Miranda<sup>1</sup> & N. Gandolfi<sup>2</sup>

1 DNPM/MT e Departamento da Geotecnia EESC. Rua da Fé, 177 – Jardim Primavera. CEP: 78030-090. Cuiabá, MT. E-mail: jocy.miranda@dnpm.gov.br

2 Departamento da Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Av. Dr. Carlos Botelho, 1465. CEP: 13560-250. São Carlos, SP. E-mail: ngandolfi@uol.com.br

**Abstract** The present work comprehends a study of all unconsolidated materials mapped in the Ribeirão Ponte de Pedra creek basin, south of Mato Grosso State. Its objectives were to identify and map all kinds of unconsolidated materials, in order to process data with multivariate statistical analysis tools. The technique applied was equally balanced paired group, based on euclidian measurements, and using STATISTICA® 5.5 software. The previous technique is in accordance with the methodology proposed by São Carlos University Engineering School (USP), on its “Evaluating terrains for generation of unconsolidated map displays”.

**Palavras-chave:** Mapeamento geotécnico, análise estatística multivariada, materiais inconsolidados.

**INTRODUÇÃO** A área estudada corresponde à bacia do ribeirão Ponte de Pedra, com aproximadamente 2.092 km<sup>2</sup>, que drena terras do sudeste do estado, integrando os rios do Pantanal Mato-grossense (Fig. 1). A principal cidade é Rondonópolis, distante 220 km de Cuiabá, a capital. O relevo da bacia do ribeirão Ponte de Pedra constitui-se de terrenos aplainados, de chapadões levemente ondulados e de escarpas abruptas, principalmente próximo a sua foz. Os pontos mais elevados não ultrapassam 700 metros e a altitude mínima é de 200 metros, às margens do rio Vermelho. Situa-se na borda noroeste da bacia sedimentar do Paraná, cujos sedimentos foram depositados sobre uma vasta área do continente Gondwânico, implantado e desenvolvido a partir do final do Ciclo Brasileiro (700-450 Ma), onde se acumularam volumosos pacotes de sedimentos do Paleozóico (Devoniano, Permo-Carbonífero), Mesozóico (Juro-Cretáceo) e do Cenozóico (Terciário e Quaternário) (Del’Arco *et al.* 1982).

Segundo Ross (2001), essa região enquadra-se na unidade de relevo planaltos e chapadas da bacia do Paraná e estudos geomorfológicos regionais definem como sendo parte da unidade geomorfológica planalto do Taquari/Itiquira (Franco & Pinheiro 1982), domínio da chapada do rio Corrente/Itiquira (Borge *et al.* 1997). É limitada a norte pela depressão de Rondonópolis, a sul pelas depressões de Pedro Gomes e Taquari, a oeste pela depressão de São Jerônimo e pela planície e pantanais Mato-grossenses e a leste, pelos planaltos e chapadas da bacia do Paraná.

Na borda ocidental da bacia do Paraná e do ribeirão Ponte de Pedra, são expressivos os entalhes obsequentes nas *cuestas* devonianas da serra de São Jerônimo, sustentados pelos arenitos das formações Ponta Grossa e Fúrias; na parte alta da bacia, nas serras do Espigão Mestre e da Jibóia, pelos arenitos silicificados da formação Palermo, de idade Permiana, e a formação Bauru de idade Cretácea.

O Mapa de Materiais Inconsolidados foi produzido seguindo-se a metodologia da EESC-USP, proposta por Zuquette (1993). É um documento cartográfico de grande importância para o estudo geotécnico de uma determinada área, por estar nele registrados os produtos resultantes de alteração dos materiais do substrato rochoso e exposição na superfície do terreno, sendo residuais e/ou transportados.

A confecção do Mapa de Materiais Inconsolidados foi procedida da seguinte forma:

- fotointerpretação em escala 1:60.000, inicialmente, com ênfase na separação das unidades de relevo e da caracterização do substrato rochoso;
- amostragem de campo;
- ensaios em laboratório;

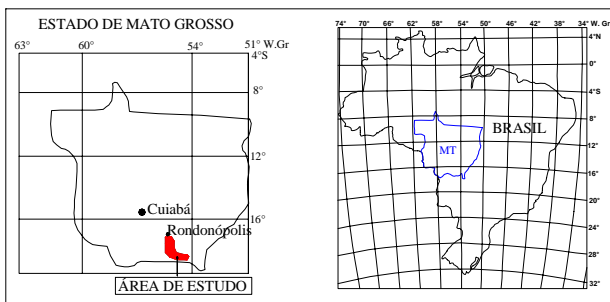


Figura 1. Localização da área de estudo

- agrupamentos das amostras por meio de análises estatísticas por intermédio do programa, *Statistica* ® 5.5, classificando-as em classes texturais em função das porcentagens de areia, silte e argila das amostras ensaiadas;

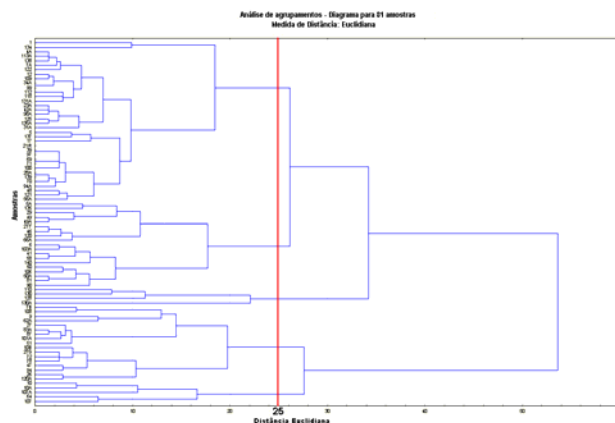
- plotagem dos pontos em fotografias aéreas; e por meio de fotointerpretação, delimitação das classes de materiais inconsolidados, considerando gênese, textura e espessura;

- transferência para o mapa topográfico com o auxílio do *Sketch Master*,

- escaneamento e digitalização no *Auto Cad* ® 14.

Os materiais inconsolidados foram identificados como sendo de natureza residual e retrabalhados, tendo como origem as litologias aflorantes da bacia do Paraná na região, mapearam-se também as aluviões próximas presentes na bacia. Para a classificação textural, realizou-se uma análise estatística multivariada, com uso da técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado, empregando-se a medida de distância euclidiana com o auxílio do aplicativo *STATISTICA*® 5.5., Segundo Landim (2001), essa técnica classificatória pode ser utilizada quando se deseja explorar os níveis de similaridades entre indivíduos (pares/grupos), (modo Q), definindo-os em grupos, considerando simultaneamente, todas as variáveis medidas em cada indivíduo. O resultado é ilustrado em um dendrograma (Fig. 2), que permitiu a separação textural dos solos a partir dos *clusters*, (agrupamentos) das composições granulométricas, das 81 amostras analisadas. Quando a distância euclidiana igual a 25, definiu-se (5) cinco classes de materiais inconsolidados residuais e retrabalhados. Esses materiais foram separados utilizando-se fotos aéreas, dados de descrições de 172 pontos em campo e as unidades de terreno (*landforms*), classificando-os como: materiais muito arenosos, arenosos, areno-siltosos, argilosos e muito argilosos, além das aluviões depositadas nos leitos e margens dos córregos e do ribeirão Ponte de Pedra.

Para melhor caracterização dos materiais inconsolidados ora amostrados, foram realizados ensaios de azul de metileno para verificação da capacidade de troca catiônica (CTC), tanto das amostras de solo como da fração argilosa, a superfície específica (SE) total, o valor de adsorção de azul de metileno para os solos (Vb), o índice de adsorção da fração argila dos solos (Acb). A massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ) foi determinada para as 81 (oitenta e uma) amostras de solos deformadas; em amostras indeformadas, foram obtidos outros índices físicos, como massa específica seca ( $\rho_d$ ), índice de vazios (e) e porosidade (n).



**Figura 2.** Dendrograma mostrando análise de agrupamentos entre as 81 amostras de materiais inconsolidados conforme os resultados dos ensaios de granulometria conjunta

Os resultados dos ensaios realizados indicam que os materiais inconsolidados da bacia do ribeirão Ponte de Pedra possuem comportamento laterítico, com a presença de argilas do tipo caulinita, inativas ou pouco ativas, apresentam potencial expansivo muito baixo. Os tipos de materiais inconsolidados mapeados na área de estudo estão descritos a seguir.

**Classe 1** Os materiais inconsolidados dessa unidade foram classificados como muito arenosos pouco evoluídos e possuem composições granulométricas variando de 71% a 93% de areia, 2% a 20% de silte e de 4% a 20% de argila; possuindo espessuras menores que 5 metros, de colorações claras, às vezes avermelhadas, dependendo do material de origem, sendo considerados residuais aqueles formados a partir das formações Fúrias, Ponta Grossa, Aquidauana, Botucatu e Grupo Bauru e os retrabalhados, os oriundos das formações Fúrias e Aquidauana. Ocupam uma superfície de aproximadamente 724 km<sup>2</sup> ou 34% da área da bacia estudada, ocorrem em setores desde fundo de vales a cabeceiras, que correspondem a zonas de transição entre a depressão do ribeirão Ponte de Pedra e as regiões de planalto. Das amostras analisadas, todas apresentaram comportamento laterítico e argilas inativas ou poucas ativas. A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios laboratoriais que deram subsídios para a caracterização desses materiais.

	Granulometria %		
	areia	silte	argila
Máximo	93	20	20
Mínimo	71	2	4

**Tabela 1.** Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 1

Nessa unidade de materiais inconsolidados foram mapeadas feições erosivas, 15 boçorocas de grande porte, 10 áreas com sulcos e ravinamentos, 2 erosões marginais. A Fig. 3, além de exibir os materiais arenosos, os relacionam com as feições erosivas cadastradas pertencentes à classe 1.



*Figura 3. Exemplo de boçoroca verificada no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 1*

**Classe 2** Os materiais dessa unidade caracterizam-se por ser de textura arenosa ou areno-argilosa e composições granulométricas variando nas proporções: areia de 52% a 76%, silte de 4% a 12% e argila de 18% a 41% (Tabela 2); as espessuras verificadas são menores que 5 metros e às vezes estão assentados diretamente sobre a rocha matriz. Os materiais situados em altos topográficos, possuem espessuras superiores a 5 metros, colorações cinza, às vezes amarelada e são formados a partir de materiais arenosos pertencentes às formações Furias e Cachoeirinha. Ocupam área em torno de 491 km<sup>2</sup> ou 23,4% da área da bacia, ocorrendo em bordas de platôs, em relevo de declividade até 10%. Correspondem a faixas situadas entre áreas planas constituídas de materiais muito arenosos presentes na porção central da bacia e outras duas áreas situadas nas nascentes do ribeirão Ponte de Pedra. A amostra que apresentou CTC do solo igual a 6,00 Cmol/kg e CTC da argila igual a 27,27 Cmol/kg, caracterizada como sendo representante dessa classe com comportamento não laterítico e argilas ativas, em vista das demais amostras que exibiram comportamento laterítico e argilas inativas.

	Granulometria %		
	areia	silte	argila
Máximo	76	12	41
Mínimo	52	4	18

*Tabela 2. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 2*

Da Classe 2, foram mapeadas 16 feições erosivas, 11 boçorocas de grande porte e 5 áreas com sulcos e ravinamentos. A Fig. 4 exibe imagem do corte em terreno expondo materiais inconsolidados pertencente à classe 2.



*Figura 4. Material areno-argiloso da classe 2, sob saprolitos laterizados da Formação Furnas*

**Classe 3** Os materiais inconsolidados dessa classe são areno-siltosos, com composições granulométricas variando de areia de 44% a 63%, silte de 19% a 40% e argila de 16% a 23%; são mediamente espessas, possui terrenos escarpados por erosão, principalmente na porção nordeste da serra do Espigão Mestre, onde expõem as rochas do Grupo Bauru e da formação Palermo. A área de ocupação dessa classe é de 74,91 km<sup>2</sup> ou 3,5 % da bacia.

Todas as amostras dessa classe apresentam comportamento laterítico e somente uma apresentou argilas pouca ativas, diferentemente das demais que são inativas.

Nessa unidade, foi encontrado somente um ravinamento desencadeado por corte de estrada. Na Tabela 3, estão apresentados os resultados de ensaios para 4 amostras de materiais inconsolidados coletados nessa classe, enquanto a Fig. 5 mostra a forma de ocorrência dos materiais areno-siltosos, típico da classe 3 no terreno estudado.

	Granulometria %		
	areia	silte	argila
Máximo	63	40	23
Mínimo	44	19	16

*Tabela 3. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 3*





*Figura 5. Terreno areno-siltoso mediantemente espesso da Classe 3 (em primeiro plano)*

**Classe 4** Essa classe é formada por materiais argilo-arenosos, com frações de areias variando de 32% a 47%, de silte entre 6% a 23% e de argila variando de 30% a 57%, (Tabela 4), apresentam perfis evoluídos; espessos a mediantemente espessos, posicionados em áreas com declividade abaixo de 5%, possuem coloração entre vermelho e amarelo, por vezes amarelado e são formados a partir dos materiais rochosos de composição menos argilosa da Formação Cachoeirinha. Ocupa uma área em torno de 446 km<sup>2</sup> ou 21,3% da superfície estudada, ocorre em porções de relevo suavemente ondulado da região central da bacia, facilmente observadas nas proximidades das vilas de Anhumas e São José do Planalto e a nordeste, na serra da Onça e Pedreira Emal Ltda. A única amostra classificada como não laterítica e argilas pouca ativa apresentou Vb 2,5 g/100g de solo e Acb 4,38 g/100g da fração argilosa; as demais apresentaram comportamento laterítico, com argilas inativas.

Foram localizadas 5 feições erosivas, duas com extensões quilométricas, localizadas na fazenda Ijuí, também se registrou 2 erosões marginais, uma no córrego ao lado da BR-364 e outra na margem do córrego Buriti. De maneira geral feições erosivas são raras nessa classe.

	Granulometria %		
	areia	silte	argila
Máximo	47	23	57
Mínimo	32	6	30

*Tabela 4. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Unidade 4*

**Classe 5** Nessa classe, os materiais inconsolidados caracterizam-se por serem muito argilosos, com perfis profundos, coloração vermelha escura, composições granulométricas variando nas seguintes frações: areia de 16% a 23%, silte de 10% a 24% e argila de 58% a 72%, conforme a (Tabela 5). Ocupam relevos tabulares entre plano a suavemente ondulado, declividade variando de 0 a 5 % e são formados a partir de materiais argilosos pertencentes à formação Cachoeirinha. Ocupam 191,38 km<sup>2</sup> ou 9,14% da bacia. São solos lateríticos (Fig. 6). Apenas uma amostra revelou característica não argilosa (Acb 0,91g/100g de argila); enquanto que as demais foram consideradas com argilas inativas. Não foram registradas feições erosivas nessa classe.

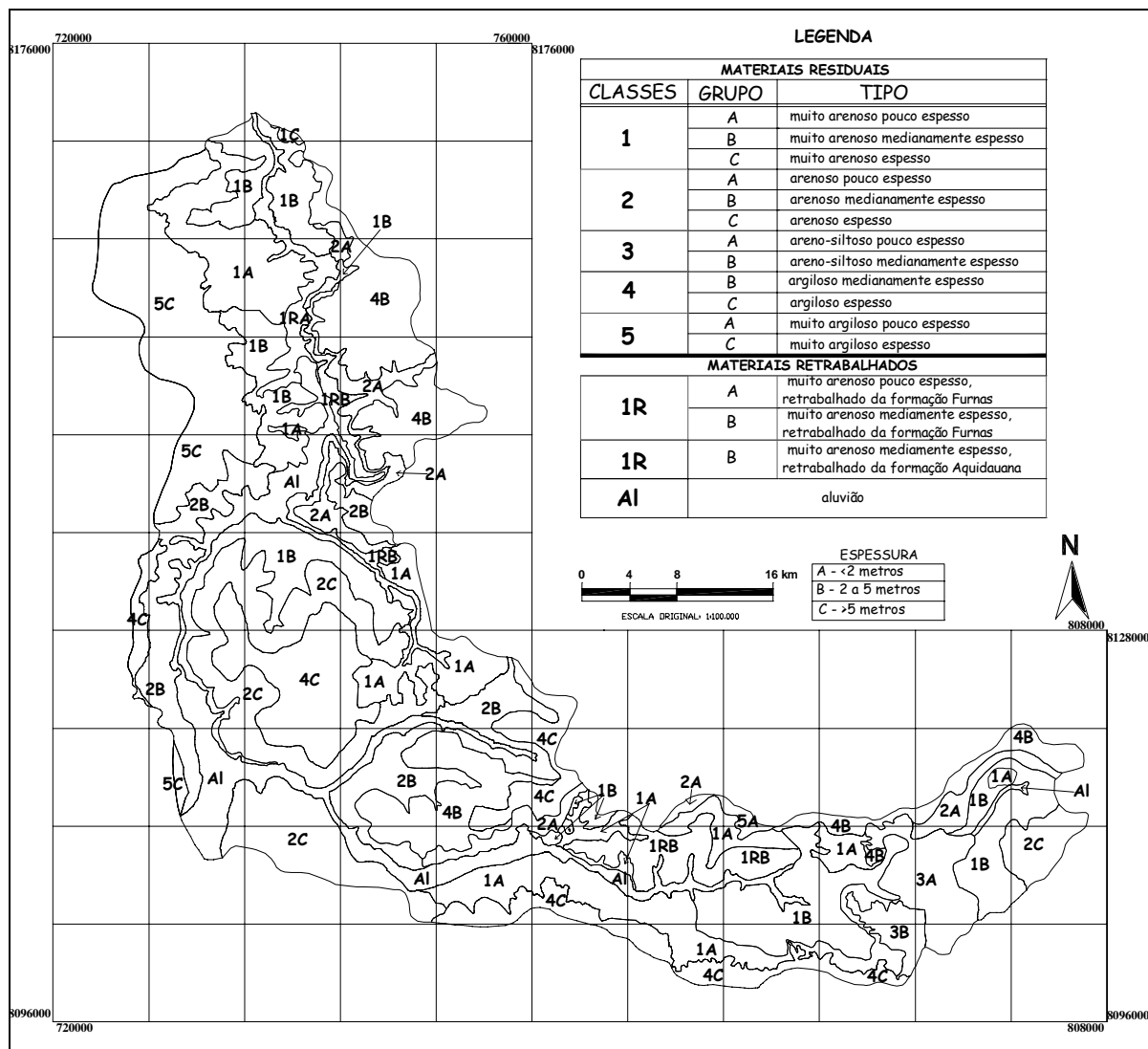
	Granulometria %		
	areia	silte	argila
Máximo	23	24	72
Mínimo	16	10	58

*Tabela 5. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 5*



*Figura 6. Terreno de ocorrência de materiais muito argilosos da Classe 5*

**Aluviões** Os depósitos aluvionares são constituídos, predominantemente, por areias de granulação grosseira a fina, de coloração clara, além de silte e argilas cinza escura. São encontradas, principalmente nas calhas e planícies do Ribeirão Ponte de Pedra, córregos Inhumas, Vertente Comprida e do Birro.



## Referências

- BORGES C.A. *et al.* 1997. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)* - PCBAP: Brasília. v.2., p.75-119.
- DEL'ARCO J.O. *et al.* 1982. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20-Corumbá*. Rio de Janeiro, p.25-143.
- FRANCO M.S.M. & PINHEIRO R. 1982. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20-Corumbá*. Rio de Janeiro, p.161-224.
- LANDIM P.M.P. 2001. *Geologia quantitativa. Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados*. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 93p.
- ROSS J.L.S. 1995. *Geografia do Brasil*. São Paulo. Edusp, p.13-51. (didática, 3). 2001.
- ZUQUETTE L.V. 1993. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. 1993. 256f. 2v. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993.