

# FORMAÇÃO CORUMBATAÍ - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SUAS PROPRIEDADES: OS EXEMPLOS DE PIRACICABA E RIO CLARO

JAYME DE OLIVEIRA CAMPOS

Geólogo

Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

ELY BORGES FRAZÃO

Geólogo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT

VICENTE JOSÉ FÚLFARO

CARLOS DE ALMEIDA NÓBREGA

Geólogos

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

ORÊNCIO MONGE VILLAR

ANTONIO AIRTON BORTOLUCCI

Engenheiros

Escola de Engenharia de São Carlos - USP

## RESUMO

Rochas sedimentares podem revelar comportamento comprometedor em obras civis onde ocorrem, graças a sua resposta peculiar aos fenômenos intempéricos e a sua própria gênese.

As rochas da Formação Corumbataí, apresentando características específicas de termos pelíticos, manifestam efeitos deletérios principalmente em cortes de estradas e mesmo como fundações de aterros e em outras aplicações, conforme se depreende de registros em artigos técnicos e outros documentos.

A constatação desses efeitos gerou a idéia deste trabalho. Sem dúvida, os estudos geotécnicos com essas rochas permitirão a obtenção e a análise do conjunto de suas propriedades, proporcionando a compreensão de sua natureza e auxiliando na interpretação do seu comportamento, na prática.

Além disto, a coleta dos dados referidos alimentará bancos de dados com destinação certa em projetos futuros onde se encontrarão rochas de comportamento semelhante. Os ensaios poderão conduzir a um aprimoramento das especificações hoje pouco adequadas aos materiais em referência.

## A FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

Esta formação, assim designada, apareceu como unidade estratigráfica, pela primeira vez, no Relatório da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, no ano de 1916, para designar "xistas argilosos e fossilíferos com calcário e xisto betuminoso".

Discussões posteriores procuraram esclarecer a sua existência. No entanto, justificam a sua anotação, modificações faciológicas relativamente às Formações do Rio do Rasto (com a qual se interdigita em seu alto), Teresina e Serra Alta (Grupo Passa Dois) o que impediu de individualizá-las nos mapeamentos, além do predomínio das tonalidades arroxeadas na sedimentação lamítica, refletindo ambiente de planície de maré (Gama Jr., 1979) e a tradição no uso do termo em São Paulo.

No Estado de São Paulo, a Formação Corumbataí, quando não é interrompida por sills de diabásio ou falhas, aflora continuamente do divisor de águas dos rios Tietê e Piracicaba para norte, até próximo ao li-

0763958

163



SYSNO	0763958
PROD	0001352
ACERVO EESC	

mite com Minas Gerais, onde parece não se expor. A formação apresenta - se em geral com espessura inferior a 150 metros, que se reduz para norte, até se anular próximo ao limite com o Estado de Minas Gerais, recobrindo-se em discordância pela Formação Pirambóia.

A região tipo de ocorrência da Formação Corumbataí é a bacia hidrográfica do mesmo nome, onde tem sido mais estudada (Mendes, 1952; Almeida & Barbosa, 1953; Barbosa & Gomes, 1958; Landim 1970): (In I.P.T. - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1981). Nessa região, apresenta em sua parte inferior, siltitos, argilitos e folhelhos cinzentos a roxo acinzentado, podendo possuir cimentação calcária e lembrando a Formação Serra Alta. Segue-se uma sucessão de camadas siltosas, ritmicamente alternadas com láminas ou camadas delgadas cuja litologia varia entre argilosa e arenosa fina, tanto vertical como horizontalmente. As cores vermelhas e arroxeadas predominam nas partes média e superior de formação, onde também se apresentam lentes e bancos calcários com até cerca de 0,5 m de espessura. As estruturas sedimentares são estratificações plano-paralelas, cruzadas e de baixo ângulo, estruturas flaser, estratificação rítmica, marcas onduladas, fraturas de ressecamento e brechas intraformacionais. A Formação Corumbataí é concordante sobre a Iratí, mas o seu contato com a Formação Pirambóia é por discordância erosiva, correspondente à destruição de espessura desconhecida de suas camadas. É relativamente rica em fósseis, predominando pelecípodes, mas também com ostracódios, conchostráceos, peixes e restos vegetais.

Pela sua fauna e fósseis, a idade da Formação Corumbataí não pode ser mais nova que o Permiano. Por outro lado, a identificação de terápidos e répteis (Barbarena et alii, 1970): (In I.P.T. - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1981) no membro mais alto (Morro Pelado) da Formação Rio do Rasto, é mais uma confirmação de que a deposição do Grupo Passa Dois encerrou-se com o Paleozóico.

#### AMOSTRAGEM

Cumprindo plano pré-fixado, procuramos coletar amostras para os ensaios, em pontos característicos de Piracicaba e Rio Claro, onde fosse possível a obtenção dos tipos litológicos representativos da Formação Corumbataí. Assim, escolheu-se a Pedreira do Bairro do Bonque, em Piracicaba e um corte na estrada Araras/São Pedro, no trevo da mesma com a Rodovia Washington Luiz, aproximadamente no km 180, próximo a Rio Claro.

Esses locais se constituem em ótimos afloramentos da Formação Corumbataí onde se pode observar algumas feições de interesse à pesquisa e que julgamos oportuno registrar.

A pedreira do Bairro do Bonque, fornece material pétreo, cuja desintinação do que foi possível apurar, é um revestimento de estradas secundárias. No local, ocorrem bancos maciços de siltitos arenosos de cores arroxeadas ou esverdeadas, além de estratos esbranquiçados, com lentes e concreções carbonáticas. Observam-se estruturas plano paralelas e em alguns pontos ocorrem estratificações cruzadas de baixo ângulo e laminação. Notam-se grandes blocos acumulados ao pé da escavação, produto do material solto pelas detonações, e também cunhas com instabilidade precária, tornadas instáveis pelo desconfinamento, percolação de água pela descontinuidade que as separam do maciço, e naturalmente pelas vibrações resultantes das detonações.

É importante constatar-se a existência de material de granulometria fina depositados também próximo à estrada de acesso à pedreira, material este que pode ser produzido seja pelas detonações, seja pela rápida desagregação, característica desses siltitos face à ação dos agentes de intemperismo.

Este material fino referido, apresenta-se na forma típica de pastilhas, de dimensões centimétricas, mas tendendo rapidamente ao pó pelo

continuar da exposição.

Observa-se ainda que, neste local, o solo de alteração na parte superior da pedreira é inexpressivo, o que pode sugerir, em primeira aproximação que os fenômenos de desagregação e alteração apontados, são provavelmente controlados pelo desconfinamento do material.

Há um evidente controle da geometria dos blocos retirados, pelos planos de acamamento e pelo sistema de fraturamento.

Na exposição localizada na estrada São Pedro-Araras, predominam siltitos argilosos carbonáticos, predominantemente arroxeados, com bancos esbranquiçados. As estruturas são as mesmas já referidas para as rochas da pedreira Bonque. É muito mais evidente, neste local, o fenômeno do empastilhamento generalizado. Notam-se claramente os efeitos do desconfinamento, através da abertura de uma junta de alívio, com expressivas dimensões. O empastilhamento é de tal ordem que, em prazo relativamente curto, as pastilhas diminuem sensivelmente de tamanho, transformando-se em uma massa de pó siltoso.

Uma das maiores dificuldades encontradas quanto à amostragem, foi a de coletar material representativo da formação em estudo, não tanto pelos obstáculos envolvidos na própria heterogeneidade do material, mas principalmente pelo fato de ser praticamente impossível o acesso, na pedreira Bonque, por exemplo, a tipos litológicos situados em níveis mais altos do afloramento. Dessa forma, procurou-se obter as amostras ao nível da escavação, através de blocos desprendidos das partes superiores. Isto representou uma solução, muito embora as condições de umidade das amostras não tenham sido exatamente aquelas que se almejasse. Além disso, na tentativa de se colher amostras com a umidade natural, foi necessário procurar-se as mesmas dentro das exposições, removendo-se, com alavancas, a parte exposta ao sol, sem dúvida excessivamente ressecada.

Desta maneira, coletou-se aproximadamente 400 kg de rocha, tendo sido alguns exemplares parafinados no local, para manutenção do seu teor de umidade.

## OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Posteriormente à amostragem, tivemos a oportunidade de visitar um trecho da ferrovia FEPASA, na variante Cordeirópolis-Itirapina, e que na região de Rio Claro corta rochas da Formação Corumbataí. Neste local, verificam-se os efeitos do empastilhamento dos siltitos daquela formação, no leito da ferrovia, à altura do km 137. Notam-se claramente o comprometimento dos trilhos com o material proveniente das taludes cobrindo o lastro, e também o fenômeno da extrusão do siltito desagregado invadindo o lastro de baixo para cima.

O silte acumula-se ao lado da ferrovia e é mobilizado para o leito pela ação das águas pluviais.

Constatou-se a obstrução de drenagem lateral pelo silte acumulado.

Outras observações foram efetuadas em rodovias construídas onde ocorrem rochas da Formação Corumbataí, quando foi possível documentar os efeitos nocivos das mesmas no pavimento.

Na estrada Araras-São Pedro, nas proximidades da Avenida Brasil, em Rio Claro, o pavimento foi refeito devido à rachaduras. Notam-se também os já referidos fenômenos de empastilhamento, comprometendo o acostamento e a drenagem, na estrada Piracicaba-Charqueada, km 6. Observa-se ainda o pavimento refeito, devido à rachaduras, na Estrada do Açúcar próximo a Rio das Pedras. Nessa estrada, um longo trecho entre Piracicaba e Capivari, encontra-se comprometido com rachaduras, o que implica numa tarefa constante de correção do pavimento.

## METODOLOGIA DOS ENSAIOS

### PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram enviadas aos Laboratórios da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - I.P.T. onde foram preparadas para os ensaios programados. Foram designadas amostras "P" as de Piracicaba, e amostras "R" aquelas provenientes de Rio Claro.

Nessa primeira fase os ensaios realizados foram aqueles destinados principalmente à caracterização das propriedades índices das rochas mas sem prescindir de outros que objetivaram o estudo do comportamento das mesmas. No primeiro caso relacionam-se a massa específica aparente seca e a compressão uniaxial, e no segundo caso, os ensaios de desagregabilidade, "Slake Durability" e a expansibilidade.

Os blocos de rocha foram primeiramente submetidos a perfuração com uma sonda rotativa portátil para obtenção de testemunhos. A partir destes testemunhos foram preparados corpos de prova cilíndricos com diâmetro de aproximadamente 5,4 cm, na relação base: altura próxima de 1:1, através de cortes com serra diamantada e retificação em torno mecânico. Estes corpos de prova se destinavam à determinação de massa específica aparente seca, de resistência à compressão uniaxial e de expansibilidade.

Com a parte restante de cada bloco perfurado procedeu-se a uma quebra manual do material para preparação de amostras que se destinavam aos ensaios de "slake durability" e de desagregabilidade.

Para esses ensaios foram preparados 10 (dez) corpos de prova com diâmetro de aproximadamente 5 cm e com massas entre 45-55 g para os ensaios "slake".

Devido à grande fragilidade das amostras a impactos mecânicos não se pode preparar material suficiente para os ensaios de desagregabilidade. Para contornar esse problema procurou-se utilizar para esse ensaio os corpos de prova utilizados nos ensaios "slake" desde que esses corpos de prova não apresentassem modificações sensíveis em suas características morfológicas e físicas.

## COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE OS ENSAIOS

### ÍNDICES FÍSICOS

Os diversos índices físicos (massas específicas aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorções d'água) não puderam ser determinadas do modo convencional para rochas (o que consiste em se utilizar de saturação em água por 48 h e pesagem a seco e saturado-submerso) devido à possibilidade de desagregação.

Assim sendo procurou-se determinar apenas a massa específica aparente seca através de pesagens após secagem em estufa (a 110°C/24h) e cálculo do volume através de medições das dimensões dos corpos de prova com o paquímetro.

A adoção deste método foi precedida de uma comparação de valores obtidos pelos dois processos utilizando-se alguns corpos de prova de uma amostra comprovadamente não desagregável.

Sabe-se (Campos, 1985), que a massa específica aparente seca depende da porosidade, descontinuidades e outros espaços abertos presentes. Para um mesmo tipo de rocha, o valor numérico desta propriedade normalmente aumenta com a profundidade, graças à diminuição da ocorrência de juntas abertas, face à pressão do material sobrejacente. O intemperismo agindo nas exposições rochosas superficiais diminui a massa específica aparente seca em função: a) do fraturamento; b) do aumento do volume de certos minerais (montmorillonitas, anidritas) em contato com

a água; c) da decomposição de minerais sob a influência da ação atmosférica: como exemplo, pode-se citar a alteração de feldspatos em argilominerais sob a ação de água e do ácido carbônico (Lama & Vutukuri, 1978). A resistência à compressão das rochas varia em geral com a massa específica aparente, sendo possível correlacioná-las (Petrucci, 1979; Campos & Blake, 1983).

O cálculo da massa específica aparente ( $\gamma_{as}$ ) foi efetuado pela seguinte relação:

$$\gamma_{as} = \frac{M}{V}$$

onde  $\gamma_{as}$  = massa específica aparente seca ( $\text{kg/m}^3$ )

$M$  = massa dos corpos de prova (kg)

$V$  = volume do corpo de prova ( $\text{m}^3$ )

Os resultados apresentaram, na sua maioria, valores normais, ocorrendo apenas um valor extremamente alto:

$$\gamma_s \text{ min} = 2,05 \text{ (normal)}$$

$$\gamma_s \text{ máx} = 2,71 \text{ (alto)}$$

Para ilustração, acrescentamos o histograma das variações dessa propriedade. (Figura 1).

## COMPRESSÃO UNIAXIAL

Os ensaios de compressão uniaxial obedeceram às diretrizes da norma C170 da American Society for Testing and Materials - ASTM.

Os corpos de prova foram ensaiados no estado seco, com aplicação de cargas através de uma prensa hidráulica com capacidade para até 200 t na velocidade constante de 6  $\text{kgf/cm}^2/\text{min.}$ , até a ruptura.

A resistência à compressão foi calculada pela seguinte relação:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

$\sigma_c$  = resistência à compressão uniaxial ( $\text{kgf/cm}^2$ ) (MPa)

$P$  = tensão de ruptura na compressão (kgf)

$A$  = área do corpo de prova ( $\text{cm}^2$ )

As resistências variaram de baixa a extremamente alta (FIGURA 2) para rochas sedimentares, ou altas, se comparadas ao granito, de acordo com os valores seguintes:

$$9,6 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 147,2 \text{ MPa}$$

Também para esta propriedade, que pode ser considerada índice, foi elaborado histograma que segue em anexo.

O ensaio de compressão uniaxial foi executado em corpos de prova de relação diâmetro/altura de aproximadamente 1:1, como especifica a norma ASTM C170.

A correção foi feita para comparação com valores da literatura obtidos em corpos de prova com relação diâmetro/altura de 1:2/1:2,5, como especifica a norma ASTM D-2938.

A fórmula de correção é

$$\sigma_{cc} = \frac{\sigma_c}{0,88 + 0,24 \frac{b}{h}}$$

$\sigma_{CC}$  = valor corrigido

$\sigma_C$  = valor obtido (relação 1:1)

b = diâmetro da base do corpo de prova

h = altura do corpo de prova

## EXPANSIBILIDADE

A expansibilidade foi avaliada através de ensaios de expansão livre uniaxial não confinada lateralmente.

Neste ensaio foram utilizados corpos de prova cilíndricos com diâmetros aproximados de 5,3 cm e altura variando entre 3,5 e 5,8 cm.

Os corpos de prova eram acondicionados em células do tipo edométrico convencional e envoltos por um anel de PVC rígido.

No topo dos corpos de prova era colocado um relógio defletométrico (micrômetro) sustentado por um braço mecânico. Estes relógios permitiam leitura direta até 0,01 mm, com capacidade para até 10 mm.

Após o condicionamento do corpo de prova na célula, e ajustado o relógio defletométrico, era adicionada água destilada e as deformações acusadas no relógio, eram anotadas em intervalos de tempo que obedeciam a uma progressão geométrica de razão 2 a partir de 1/8 de minutos.

Os corpos de prova eram pesados antes e após o ensaio. Sua altura inicial (antes do ensaio) era também anotada.

O ensaio se encerrava quando as deformações permaneciam constantes, mas nunca antes de 24 h de ensaios.

A expansão livre é calculada pela seguinte relação:  $E = \frac{\Delta H}{H} \times 100$

onde  $E$  = expansão livre uniaxial (%)

$\Delta H$  = máximo acréscimo de altura

$H$  = altura inicial do corpo de prova (mm)

Os parâmetros iniciais e finais destes ensaios foram: umidade inicial, umidade final, massa específica aparente e expansão livre a cada intervalo considerado.

Este ensaio seguiu as recomendações da Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas - ISRM.

Após ensaiadas, as amostras apresentaram todas baixa expansibilidade, conforme os valores abaixo:

$$0,10\% \leq E \leq 1,36\%$$

É oportuno lembrar que as rochas com altos valores da resistência à compressão simples, também apresentaram baixa expansibilidade. Algumas delas não puderam sequer serem ensaiadas à compressão, pelas dificuldades de moldagem das amostras correspondentes, e consequentemente também não tiveram a sua expansibilidade caracterizada.

## DESAGREGABILIDADE

O conceito de desagregabilidade está intimamente associado ao de durabilidade, sendo esta caracterizada pelos testes de durabilidade, que se propõem a avaliar a resistência mecânica das rochas ao enfraquecimento e desintegração resultantes de ciclos de secagem-umidecimento.

O termo durabilidade pode ser usado num contexto de engenharia, para traduzir a resistência ao enfraquecimento e desintegração das rochas no decorrer do tempo, ou seja, sua resistência ao intemperismo (Campos, 1981). Um teste de durabilidade prediz a deterioração devida à secagem e umidecimento climáticos.

A durabilidade à hidratação de uma rocha, depende: a) da permeabilidade e porosidade, já que estas controlam a entrada e a retenção dos

fluidos nos poros da rocha e sua mobilidade no seu interior; b) a ação de fluidos que tenham penetrado na rocha, e que podem agir por absorção, resultando em mudanças na energia superficial, por dissolução de cimentos ou ruptura de ligações, podendo ainda originar forças de ruptura através de mecanismos de poro-pressões.

A capacidade de uma rocha resistir a forças de ruptura ditará as condições potenciais para que ocorram enfraquecimentos, intumescimento ou desintegração completa do material ensaiado.

Pelos motivos citados, uma rocha que seja impermeável, não reativa ou que tenha força intergranular elevada, é usualmente durável.

Os efeitos da hidratação podem ser julgados pela observação e descrição do material em teste, pelo acompanhamento das pressões de expansão ou pelo peneiramento das amostras, afim de determinar a redução de tamanho como resultado do processo de hidratação. O último método pode apresentar vantagens desde que ocorram fragmentações apreciáveis e que a amostra seja grande e suficientemente representativa do material em estudo.

O ensaio de desagregabilidade adotado foi do tipo saturação em água e secagem em estufa, através de ciclos de 24/24 horas.

As amostras foram pesadas após secagem em estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas e a seguir foram colocadas em bandejas de alumínio, onde foi adicionada água até cobrir totalmente as partículas.

Após completar 24 horas de imersão, as amostras foram levadas à estufa onde permaneceram para secagem durante 24 horas.

Os ensaios tiveram duração de 20 ciclos, com acompanhamento visual do aspecto das amostras a cada ciclo.

Pelo fato das amostras terem apresentado desagregabilidade variável, e também pelas amostras terem sido pesadas com dimensão padrão, não foram feitos peneiramento e pesagens para o cálculo de perdas. A desagregabilidade foi documentada através de fotografias tomadas após o encerramento dos ensaios.

As amostras submetidas a este teste, apresentaram desagregabilidade variável:

P 9	=	10%	dos fragmentos afetados
P 10	=	70%	
P 15	=	0%	
P 16	=	40%	
P 18	=	30%	
P 24	=	0%	
R 25	=	20%	
R 26	=	50%	
R 28	=	30%	

#### "SLAKE DURABILITY" (TESTE DE DURABILIDADE A ÚMIDO)

Este ensaio segue as recomendações da Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas e consiste em submeter amostras de rocha à abrasão em presença de água acompanhado de secagem em estufa.

Franklin & Chandra (1972), afirmam que este teste é um teste-índice, e é melhor empregado na comparação de uma rocha com outra. Não diz diretamente "in situ" a velocidade de intemperismo e deterioração, já que outros fatores, além da natureza da rocha, também influem na velocidade de intemperismo, como por exemplo a severidade do clima.

Os fatores essenciais para o teste padrão são os seguintes, segundo aqueles autores: uma amostra de fragmentos da rocha secos em estufa é girada em um recipiente de teste com malha de peneira padrão, sendo o mesmo semi imerso em um banho de água a  $20^{\circ}\text{C}$ . Durante o teste, os produtos mais finos de hidratação passam através da malha e do banho d'água. O índice de durabilidade à hidratação  $I_d$  é a relação percentual do peso

seco final para o inicial da rocha no tambor.

No caso das rochas aqui tratadas, os detalhes da execução dos testes são os seguintes:

a) Amostras

Foram preparados manualmente dez corpos de prova de rocha com diâmetro de aproximadamente 40 mm e com massas individuais variando entre 45 e 55 g.

b) Equipamento

O equipamento consiste de dois tambores 100 mm de comprimento e diâmetro de 140 mm, sendo a geratriz perfurada com orifícios de diâmetro de 2 mm. Esses tambores alojam-se em duas cubas retangulares onde é introduzida água até 20 mm abaixo de seus eixos. Os tambores (acoplados em linha) são movimentados por um motor que gira a 20 rpm.

c) Ensaio

As amostras foram pesadas dentro dos tambores após secagem a 110 + 5°C. Após a colocação da água nas cubas o motor foi deixado girar por 20 minutos. A seguir, as amostras e os tambores foram levados à estufa para secagem por 24 h e à pesagem final.

Os valores de "slake" das amostras foram calculados através da seguinte expressão:

$$I_{d2} = \frac{C - D}{A - D} \times 100 \text{ onde}$$

$I_{d2}$  = valor do "slake" a 20 minutos

A = massa inicial dos tambores mais as amostras (g)

C = massa final dos tambores mais as amostras (g)

D = massa dos tambores (g)

Uma tentativa de subdivisão da escala de durabilidade à hidratação em termos tais como "alta", "média" e "baixa" foi sugerida por Fran klin & Chandra (1972), conforme a tabela abaixo:

DURABILIDADE À HIDRATAÇÃO $I_d$ (%)	CLASSIFICAÇÃO
0 - 25	Muito baixa
25 - 50	Baixa
50 - 75	Média
75 - 90	Alta
90 - 95	Muito alta
95 - 100	Extremamente alta

Foram utilizadas subdivisões desiguais, principalmente para rochas duráveis. A maioria delas têm durabilidade à hidratação "extremamente alta" (hidratam-se com intensidade negligenciável), de forma que as subdivisões menores são necessárias para refletir pequenas diferenças na resistência à fragmentação.

As duas categorias de durabilidade mais alta são chamadas "rochas" e as de menor durabilidade "solo", como a distinção entre solo e rocha é frequentemente exigida em contratos de engenharia, o  $I_d$  poderia ser um possível método quantitativo de diferenciação entre os dois.

As rochas da Formação Corumbataí ensaiadas podem ser classificadas como de resistência "extremamente alta" na classificação de Fran klin & Chandra, de acordo com os resultados obtidos:

$$95,1\% \leq I_{d2} \leq 98,2\%$$

## A UTILIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL COMO PARÂMETRO CLASSIFICATÓRIO DAS ROCHAS DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

Nóbrega (1985) esclarece que a questão de se considerar uma rocha qualquer como de baixa resistência, conduz necessariamente ao estabelecimento de intervalos de resistência que abranjam desde solos inconsolidados até rochas propriamente ditas. Para isto podem ser utilizadas as classificações geotécnicas que oferecem a resistência à compressão uniaxial como parâmetro classificatório. Na Figura 1, notam-se para efeito de comparação, classificações propostas por diversos autores, onde se verificam, de imediato a ausência de consenso quanto aos intervalos considerados.

Rocha (1977), referindo-se à questão dos intervalos de resistência, alerta para dois problemas básicos quanto à conceituação de rochas de baixa resistência: a) o estabelecimento de um critério de distinção entre solos e rochas de transição para solos; b) a fixação do limite superior da resistência, no que se refere à primeira questão, este autor considera inadequada a tradicional definição da Mecânica dos Solos, que defende serem os solos constituídos de partículas soltas ou agregadas que podem se separar com facilidade quando colocadas dentro da água e submetidas à agitação.

As rochas, ao contrário, são materiais cuja coesão não é destruída pela presença de água em excesso. Reconhece que tal critério conduz à hipótese pouco correta da continuidade das condições de gênese dos solos e rochas. Rocha (1977) sugere então que o valor da resistência à compressão uniaxial de 2 MPa seria a fronteira inferior entre solos e rochas.

Morgenstern & Eigebrod (1974), propõem que a distinção entre solos e rochas argilosas possa ser a perda de resistência por amolgamento. Assim, caso esta for maior que 60% e a resistência à compressão uniaxial inferior que 5,6 MPa, teremos um solo.

Quanto ao limite superior Rocha (1977) sugere o valor de 20 MPa para a resistência à compressão uniaxial, alegando que os maciços com resistência menor que este valor, apresentam comportamento nitidamente diferenciado quando é ultrapassado. Outros autores como Bieniawski (1971) registra que, rochas de resistência de até 70 MPa, como quartzitos e noritos (duras) e arenitos (brandas), apresentam diferenças acen tuadas no comportamento tensões-deformações.

Considerando-se o exposto e levando-se em conta as restrições apontadas quanto à utilização da resistência à compressão uniaxial como parâmetro classificatório, pode-se admitir que as rochas da Formação Corumbataí ensaiadas, com elevado grau de sanidade, incluem-se, no intervalo de 30 a 50 MPa (46% dos exemplares) e de 20 a 60 MPa (68%) (Figura 2), o que, na maior parte das classificações consideradas na Figura 3, significa resistências média a alta.

### CONCLUSÕES

Como se pode inferir, de uma maneira geral, as rochas ensaiadas têm propriedades satisfatórias, de certa forma até acima da média, para rochas sedimentares. É possível admitir-se então, que os principais problemas apresentados pelas rochas da Formação Corumbataí relacionem-se a alguns tipos particulares dessas rochas, submetidos a situações especiais de climatização.

Pensamos que, dos parâmetros a exigirem melhor definição a partir de agora, deverão ser o desconfinamento da rocha associado a ciclos de umidecimento e secagem. Já verificou-se que a expansibilidade das rochas estudadas não é significativa, o que levou a se admitir que as pressões de expansão não sejam elevadas.

É possível até que as pressões de expansão, inexpressivas na ro-

cha, tornem-se apreciáveis na medida de sua degradação pelos agentes in tempéricos. Visando estudos já agora com objetivos específicos, voltados para observações e medidas do comportamento das rochas citadas ao intemperismo e também dos seus produtos de alteração, propomos a seguinte sequência de estudos e observações, a se seguirem aquelas já concluídas:

1. Intensificar o programa de amostragem, priorizando as coletas de tipos onde o processo de empastilhamento seja a característica marcante, bem como de tipos já marcadamente alterados;
2. Procurar, nas análises mineralógicas e petrográficas, a resposta às evidências da partição progressiva das rochas;
3. Adotar uma sistemática de ensaios que simulem, especificamente a resposta da rocha aos agentes intempéricos;
4. Procurar indícios de correlações entre os fenômenos de desagregação progressiva, a percolação de água nas fissuras e às variações do nível freático;
5. Determinar o zoneamento dos maciços estudados, em função de sua susceptibilidade à alteração progressiva e propor alguns métodos de prevenção e combate ao problema maior representado pela existência dos tipos rochosos deletérios, em obras civis.

#### AGRADECIMENTO

Este trabalho foi realizado com o suporte financeiro da FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - cuja contribuição ao desenvolvimento da pesquisa no Estado de São Paulo e no Brasil, os autores consideram como inestimável.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIENIAWSKI, Z.T. - 1974 - Estimating the strength of rock materials. Jounal of South African Inst. of Mining and Metallurgy, 74-(8): 312-320.
- CAMPOS, J. de O. - 1981 - Propriedades geotécnicas e comportamento tecnológico de arenitos da Formação Caiuá. - Tese de Doutoramento apresentada ao Instituto de Geociencias da USP, São Paulo, 251 pg.
- CAMPOS, J. de O.; BLAKE, E.H. de T. 1983 - Correlações entre as propriedades físicas e a resistência à compressão simples dos arenitos Caiuá - Atas do Simp. sobre a Geotecnica da Bacia do Alto Parana, São Paulo, V. 2B: 127-141.
- CAMPOS, J. de O. - 1985 - Propriedades físicas dos arenitos Caiuá - Revista Geociências, São Paulo, 4:35-36.
- FRANKLIN, J.A.; CHANDRA, R. - 1972 - The slake durability test. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9: 325-341.
- FRAZÃO, E.B.; GOULART, E.P. - 1976 - Aspectos da expansibilidade de argilo-minerais; algumas implicações em obras civis. I Cong. Bras. Geol Eng., A.B.G.E., São Paulo, Tema II 2: 351-365.
- GAMA JR., E. - 1979 - A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Iratí): um modelo geomórfico. Revista Bras. de Geociências, 9 (1): 1-16.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, DIVISÃO DE MINAS E GEOLOGIA APLICADA - 1981 - Monografias - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, vol. 1.
- LAMA, R.D.; VUTUKURI, V.S. - 1978 - Handbook of mechanical properties of rocks - Trans. Tech. Publ., Clausthal.
- MEIGH, H.C.; WOLSKI, W. - 1981 - Design parameters for weak rocks. VII E.C.S.M.F.E., Brighton, England. British Geotechnical Society, 5:59-79.
- MORGENSTERN, N.R.; EIGENBROD, K.D. - 1974 - Classification of argilla

- ceous soils and rocks. Journal of the Geotech. Engineering Division. Am.Soc.Civ.Eng., 100,GT 10.
- NÓBREGA, C.M. - 1985 - Considerações sobre a caracterização da resistência e deformabilidade em rochas de baixa resistência através de ensaios em laboratorio e "in situ". Dissertação de Mestrado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, da USP, 106 pg.
- PETRUCCI, E.G.R. - 1979 - Materiais de construção - Ed. Globo, Porto Alegre.
- ROCHA, M. - 1977 - Alguns problemas relativos à Mecânica das Rochas de baixa resistência. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, (LNEC), Memoria nº 491, Lisboa, 25 pg.
- RUIZ, M.D. - 1966 - Características tecnológicas de rochas do Estado de São Paulo. Bol. Inst.Pesq.Tecnol.São Paulo, nº 50.
- SANTOS, A.R. - 1974 - Desagregação superficial em taludes de corte nos argilitos e siltitos da Formação Estrada Nova. V Cong.Bras.Mec. dos Solos, A.B.M.S., São Paulo, I: 351-356.

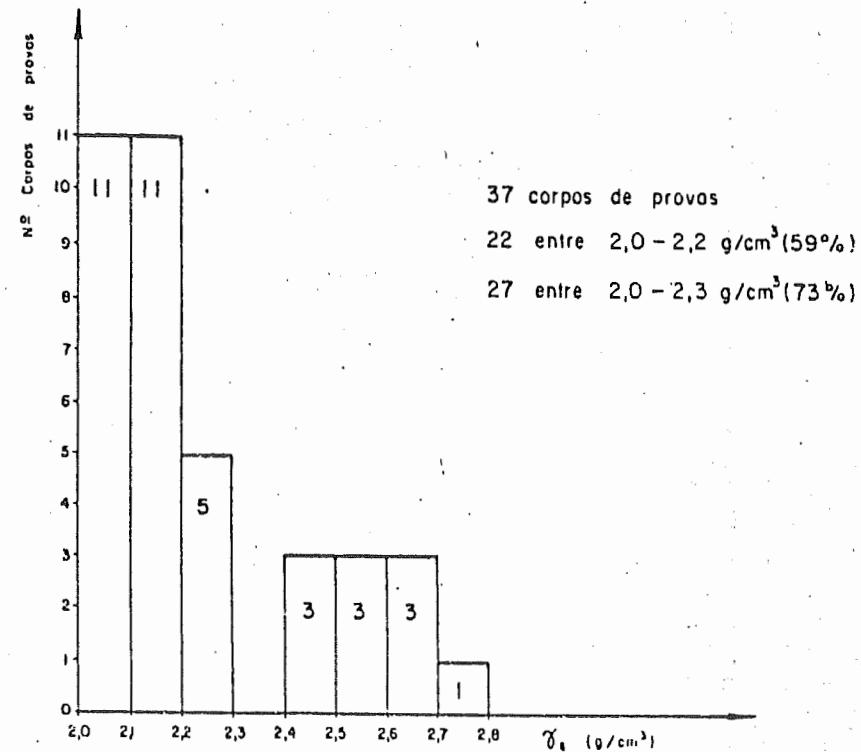
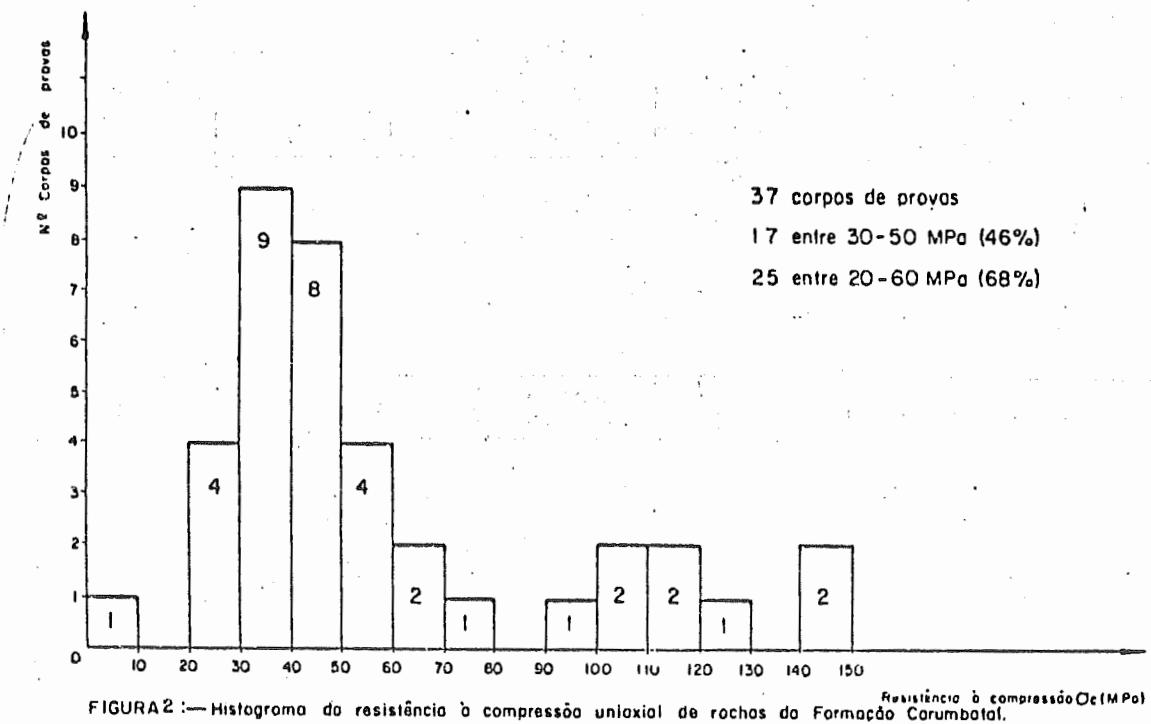


FIGURA 11— Histograma da massa específica aparente seca de rochas da Formação Corumbataí.



MUITO FRACA	FRACA	RESISTENTE	MUITO RESISTENTE
-------------	-------	------------	------------------

Coates  
(1964)

RESISTENCIA MUITO BAIXA	RESISTÊNCIA BAIXA	RESISTÊNCIA MÉDIA	RESISTÊNCIA ALTA	RESISTÊNCIA MUITO ALTA
-------------------------	-------------------	-------------------	------------------	------------------------

Deere e Miller  
(1966)

MUITO FRACA	FRACA	MEDIAMENTE RESISTENTE	RESISTENTE	MUITO RESISTENTE
-------------	-------	-----------------------	------------	------------------

Stapledon  
(1968)

MUITO FRACA	FRACA	MODERADAMENTE FRACA	MODERADAMENTE RESISTENTE	RESISTENTE	MUITO RESISTENTE	EXTREMAMENTE RESISTENTE
-------------	-------	---------------------	--------------------------	------------	------------------	-------------------------

Solo —— Rocha

Geological Society  
(1970)

RESISTÊNCIA EXTREMAMENTE BAIXA	RESISTÊNCIA MUITO BAIXA	RESISTÊNCIA BAIXA	RESISTÊNCIA MÉDIA	RESISTÊNCIA ALTA	RESISTÊNCIA MUITO ALTA	RESISTÊNCIA EXTREMAMENTE ALTA
--------------------------------	-------------------------	-------------------	-------------------	------------------	------------------------	-------------------------------

Broch e Franklin  
(1972)

SOLO	ROCHA MUITO MOLE	ROCHA MOLE	ROCHA DURA	ROCHA MUITO DURA	ROCHA EXTREMAMENTE DURA
------	------------------	------------	------------	------------------	-------------------------

Jennings et al  
(1973)

SOLO	RESISTÊNCIA MUITO BAIXA	RESISTÊNCIA BAIXA	RESISTÊNCIA MÉDIA	RESISTÊNCIA ALTA	RESISTÊNCIA MUITO ALTA
------	-------------------------	-------------------	-------------------	------------------	------------------------

Bleniuski  
(1973)

SOLO	SOLO ARGILOSO ( $Se \Delta Cu > 60\%$ )	ROCHA $Se \Delta Cu < 40\%$	ROCHA
	ZONA MARGINAL		

Margenstern e Eigenbrod  
(1974)

SOLOS	RESISTÊNCIA MUITO BAIXA	RESISTÊNCIA BAIXA	RESISTÊNCIA MÉDIA	RESISTÊNCIA ELEVADA	RESISTÊNCIA MUITO ELEVADA
-------	-------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	---------------------------

Rocha, M  
(1977)

EXTREMAMENTE FRACA	MUYO FRACA	FRACA	MEDIAMENTE RESISTENTE	RESISTENTE	MUITO RESISTENTE	EXTREMAMENTE RESISTENTE
--------------------	------------	-------	-----------------------	------------	------------------	-------------------------

I.S.R.M.  
(1978-a)

