

## AS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS ARENITOS SILICIFICADOS E SUAS IMPLICAÇÕES NA APTIDÃO AO LASCAMENTO

*Astolfo Gomes de Mello Araujo\**

ARAUJO, A. G. de M. As propriedades físicas dos arenitos silicificados e suas implicações na aptidão ao lascamento. *Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia, S. Paulo, 2:63-74, 1992.*

**RESUMO:** Este artigo visa apresentar alguns resultados obtidos a partir do estudo de seções delgadas de arenitos silicificados, matéria-prima abundante na região sudeste do Brasil. Foram comparadas cinco amostras de arenito silicificado com diferentes graus de aptidão ao lascamento e buscadas as relações entre essa aptidão e as características físicas das amostras (arredondamento, esfericidade, granulometria etc.). Os resultados obtidos corroboraram algumas hipóteses levantadas a respeito dessas relações e abriram uma perspectiva para o estudo do comportamento físico deste tipo de matéria-prima.

**UNITERMOS:** Arenito Silicificado; Lascamento; Matéria-Prima Lítica; Petrografia de Rochas Silicosas.

### **Introdução**

O arenito silicificado é um tipo de matéria-prima encontrada em abundância no médio curso do rio Paranapanema, de boa qualidade para o lascamento por apresentar fraturamento conchoidal com gumes cortantes, e regionalmente associado às formações Botucatu e Serra Geral, pertencentes ao Grupo São Bento da Bacia do Paraná (IPT-PROMINÉRIO, 1981). A presença de artefatos em arenito silicificado foi constatada desde o início dos trabalhos sistemáticos de levantamento e pesquisa arqueológica desenvolvidos no âmbito do “Programa de Pesquisas Arqueológicas da Bacia do Rio Paranapanema, Estado de São Paulo - Projeto Paranapanema”, iniciado em fins da década de 60 (Pallestrini, 1969).

Nos sítios estudados, as porcentagens de peças líticas em arenito silicificado chegam próximas a 90%, refletindo a aptidão ao lascamento e a disponibilidade desta rocha (Moraes, 1983).

Dada sua importância no contexto arqueológico, foi desenvolvido um pequeno estudo das características intrínsecas dos arenitos silicificados, na tentativa de obter respostas do porquê de sua aptidão física ao lascamento e de como tais características influem nessa aptidão, fazendo com que certos arenitos respondam de maneira melhor ao lascamento do que outros.

(\*) Depto. do Patrimônio Histórico do Município de São Paulo e pós-graduando do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo.

## Definição e composição mineralógica

Os arenitos silicificados são rochas silicosas<sup>1</sup>, de origem sedimentar e formadas mecanicamente, ou seja, são rochas siliciclásticas. Sua composição básica é de grãos de quartzo, ocorrendo também minerais acessórios como feldspato, zircão, turmalina etc., cuja presença depende de fatores diversos como a área-fonte e as condições ambientais reinantes ao longo do processo de formação do arenito.

O adjetivo "silicificado" provém do fato de tais rochas haverem passado por um processo diagenético<sup>2</sup> de cimentação, denominada silicificação.

Segundo Paraguassu (1972), o processo de silicificação ocorre rapidamente, por meio de soluções aquosas saturadas em sílica que percolam através dos poros do arenito inconsolidado e se precipitam, formando assim o cimento silicoso.

## Fatores determinantes nas características físicas dos arenitos silicificados

Serão abordados a seguir alguns fatores que determinam grandemente o comportamento dos arenitos silicificados face à percussão, e conseqüentemente sua aptidão ao lascamento. Muitas das características são determinadas por condicionantes microscópicos, que necessitam de materiais e métodos específicos das geociências para serem reconhecidos (laminação de rochas, microscopia petrográfica etc.).

## Silicificação

Dentre os fatores que determinam o comportamento físico dos arenitos silicificados, talvez o mais importante seja justamente a silicificação. Como resultado deste processo te-

mos uma rocha coesa, onde os grãos de quartzo e o cimento possuem a mesma composição química ( $\text{SiO}_2$ ). Isso faz com que o arenito silicificado tenda a se comportar como uma rocha silicosa homogênea, e confere ao mesmo um caráter de isotropia física. Ao ser golpeado com um percutor, ocorre o livre deslocamento das ondas de choque em seu meio. A conjugação destes fatores resulta no fraturamento conchoidal, desde que não haja planos de fratura e demais descontinuidades físicas na rocha.

A silicificação pode se dar em maior ou menor grau, dependendo de algumas variáveis físicas, conforme será visto adiante. Um arenito que tenha sofrido boa silicificação, apresentando alta coesão entre os grãos, será mais apto ao lascamento do que outro que tenha passado por uma silicificação incipiente, no qual os grãos constituintes estejam soltos, resultando numa baixa coesão e conseqüentemente numa menor capacidade de transferência de energia cinética (ou seja, a onda de choque produzida por percussão não se propaga de maneira satisfatória).

Existem, porém, além do "fator silicificação", outros fatores microscópicos que fazem com que determinados tipos de arenito respondam de maneira melhor ao lascamento do que outros. Tais fatores estão ligados às características granulométricas dos arenitos, e serão explicitados a seguir.

## Granulometria

A granulometria tem um papel importante no comportamento físico dos arenitos silicificados. Quanto menores os grãos, maior será a facilidade de deslocamento das ondas de choque produzidas por um percutor, já que grãos pequenos tendem a se comportar mais como transmissores de impulsos de choque do que como obstáculos. A rocha apresentará maior elasticidade, resultando numa boa fratura conchoidal, com gume cortante devido à finura do sedimento.

## Estratificação

A estratificação é definida por diferenças granulométricas que podem ocorrer entre camadas distintas de uma mesma rocha sedi-

(1) Rochas silicosas são as formadas predominantemente por  $\text{SiO}_2$ , ou sílica.

(2) Processos diagenéticos são aqueles que ocorrem após a formação de uma rocha.

mentar. No caso de arenitos silicificados aproveitados pelo homem, diferenças granulométricas intra-rocha são indesejáveis, pois agirão como anisotropias, ou seja, responderão de maneira diferente às ondas de choque que estejam percorrendo a rocha.

Pode-se citar como exemplo uma camada de granulometria fina intercalada entre duas camadas de maior granulometria. Como foi visto, a camada de grãos menores tende a permitir o deslocamento da onda de choque com maior facilidade. A rocha não será mais isotropa, porque porções internas dela (os estratos) agirão como planos preferenciais de propagação das ondas de choque.

### *Esféricidade*

A esfericidade é o “grau de aproximação” da área de uma partícula qualquer à área superficial de uma esfera com o mesmo volume da partícula.

O papel da esfericidade também é importante, uma vez que grãos com alta esfericidade têm um padrão de empacotamento que diminui muito a probabilidade de formação de planos de fraqueza. Com grãos de baixa esfericidade, isto é, grãos que tendem a ser placóides, é mais comum um arranjo onde esses grãos se orientem na mesma direção, causando anisotropia física (fig. 1). Outro aspecto que deve ser levado em consideração é que as for-

mas esféricas são mais favoráveis à transmissão de ondas de choque, comparáveis a minúsculas “bolas de bilhar”.

### *Seleção*

Quanto melhor selecionados forem os arenitos, isto é, quanto menor for a variação entre as dimensões dos grãos, maior será sua porosidade primária. A porosidade neste caso está diretamente relacionada à cimentação, uma vez que esta se dá através da percolação de soluções silicosas entre os grãos. Assim, quanto melhor a seleção, maior a probabilidade de haver uma boa cimentação.

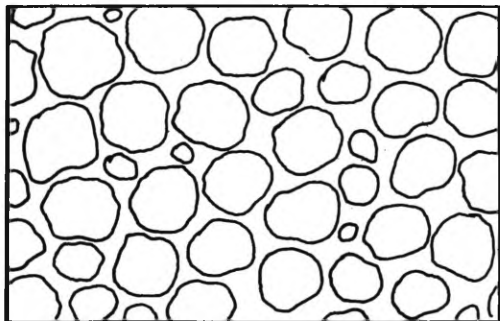
Outra característica legada pela seleção é a maior isotropia física existente quando os grãos são bem selecionados, já que haverá menos discrepância no tamanho dos mesmos.

A figura 2 mostra as Classes de Seleção segundo Folk (1965 *apud*: Scholle, 1979).

### *Arredondamento*

Embora pouco tenha sido escrito sobre o assunto, Crabtree (1967) afirma que quanto mais angulosos forem os grãos constituintes (i.e. quanto menos arredondados), melhor será o resultado do lascamento. Os grãos angulosos (fig. 3) confeririam um caráter de maior elasticidade ao arenito, sendo, portan-

A



B

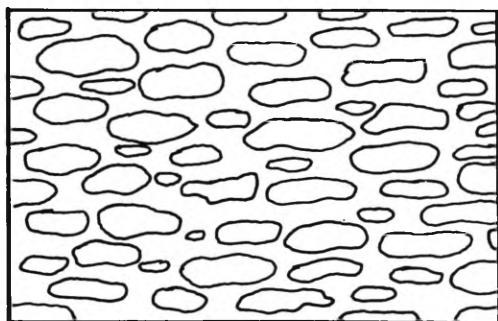
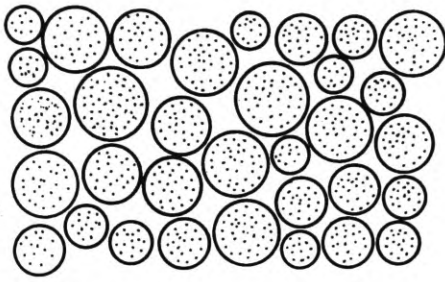
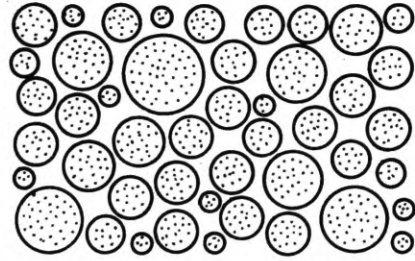


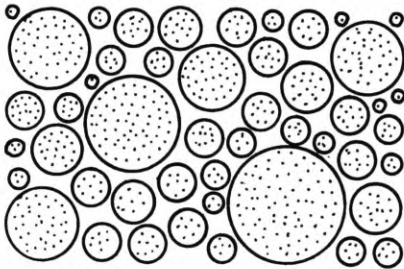
Fig. 1 — Diferentes tipos de arranjos de grãos : A) arranjo de grãos com alta esfericidade. B) arranjo de grãos com baixa esfericidade.



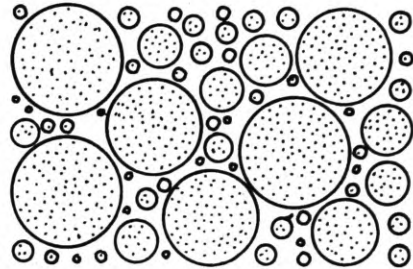
MUITO BEM SELECIONADO



BEM SELECIONADO



MODERADAMENTE SELECIONADO



MAL SELECIONADO

Fig. 2 - Classes de seleção, segundo Folk, 1965 apud: Scholle, 1979.

to, responsáveis por uma boa transmissão das ondas de choque.

Outro fator referente ao arredondamento é o grau de coesão entre o cimento e os grãos. Se estes forem angulosos, suas irregularidades superficiais tenderão a aumentar a área de contato e a funcionar como “engrenagens”.

#### *Maturidade mineralógica e textural*

A maturidade mineralógica está relacionada à porcentagem de minerais e fragmentos de rocha quimicamente estáveis presentes no arenito. Quanto maior for esta porcentagem, mais maturo será o arenito, mineralogicamente falando. Estando os minerais compostos de sílica entre os mais quimicamente estáveis, podemos dizer que um arenito composto quase exclusivamente de grãos de quartzo será mais maturo do que um arenito que apresente porcentagens mais altas de minerais menos estáveis, como o feldspato, por exemplo.

A definição de *maturidade textural* segundo Folk (1951 apud: Pettijohn *et al.*, 1973) seria o grau em que a areia estaria livre de argila intersticial (matriz) e o quanto estaria bem selecionada e bem arredondada.

Uma areia livre de argila intersticial apresentará porosidade e permeabilidade bem maiores do que uma areia com os poros preenchidos por argila. A porosidade e permeabilidade são essenciais no processo de silicificação, que irá transformar a areia num arenito silicificado.

Quanto à seleção e ao arredondamento, conforme já foi visto, é desejável que o arenito seja bem selecionado, porém não é interessante que seja bem arredondado. Este último fator, como será visto adiante, parece ter um papel secundário nas respostas físicas dos arenitos ao lascamento.

De um modo geral, de acordo com o que foi visto nos itens anteriores, é certo que quanto mais maturo for o arenito silicificado, tanto maior será sua aptidão ao lascamento.

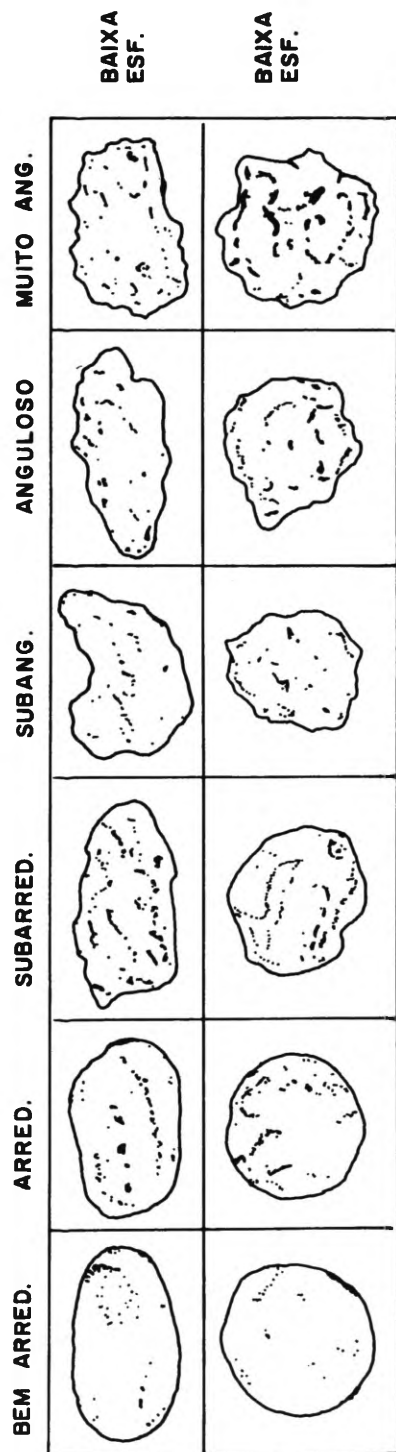


Fig.3 - Categorias de arredondamento para grãos de alta e baixa esfericidade, segundo Pettijohn et al., 1973 apud: Scholle, 1979.

### Alguns exemplos ilustrativos

Vamos agora proceder à análise de cinco amostras de arenito silicificado, que apresentam diferentes graus de aptidão ao lascamento. Para tanto, foram confeccionadas lâminas petrográficas que permitiram a observação das características microscópicas de cada amostra. Na tabela 1 temos uma descrição simplificada das lâminas, onde os elementos listados das rochas em questão podem ser comparados e visualizados na prática, a partir do esboço teórico apresentado.

Por meio de experimentos, chegou-se à conclusão de que as amostras de arenito silicificado que mais se prestam ao lascamento são as designadas por AS-1, PSR-1 e ARS-2, em ordem decrescente de aptidão. Reportando-nos à tabela, podemos perceber que as rochas exibem características microscópicas que se coadunam com o que foi observado empiricamente.

#### Amostra AS-1

A amostra AS-1 (fotos 1 e 2) apresenta características microscópicas que se refletem numa grande aptidão ao lascamento, a saber:

- a) É uma rocha homogênea, na qual não foram observadas, mesmo ao microscó-

pio, descontinuidades ou grandes diferenças na granulometria.

b) Sua granulometria cai na classe "areia muito fina" (88-125  $\mu$ ), a menor do conjunto de amostras.

c) Os grãos, em sua maioria, são angulosos.

d) A esfericidade é a maior do conjunto de amostras, chegando a ter mais de 50% dos grãos na categoria de alta esfericidade.

#### Amostra PSR-1

Em segundo lugar numa classificação empírica de aptidão ao lascamento estaria a amostra PSR-1 (fotos 3 e 4). A explicação para seu comportamento parece residir nos seguintes fatos:

a) Como a anterior, também se trata de uma rocha homogênea.

b) Sua granulometria é "fina" (125-177  $\mu$ ), só superior à da amostra AS-1.

c) O arredondamento é um dos menores do conjunto.

d) A esfericidade dos grãos é elevada, se comparada às demais amostras.

#### Amostra ARS-2

A amostra ARS-2 (fotos 5 e 6) também é bastante apta ao lascamento, mas possui algu-

Tabela 1 : "Principais parâmetros físicos de comparação dos arenitos. Nos itens arredondamento e esfericidade, os códigos entre parênteses representam: S (superabundante) = 50% ; A (abundante) = 10 a 50 % ; C (comum) = 2 a 10 % ; R (raro) = 0 a 2 % ( segundo Coutinho e Coimbra, 1974).

Amostra	ARS-1	ARS-2	PSR-1	PSR-2	AS-2
Estrutura	homogênea	estratificada	homogênea	estratificada	homogênea
Granulação	fina 177-250 $\mu$	fina 177-250 $\mu$	fina 125-177 $\mu$	média 250-350 $\mu$	muito fina 88-125 $\mu$
Seleção	bem selecionada	muito selecionada	bem selecionada	bem selecionada	bem selecionada
Arredondamento	subarred. (S)	arredondado (S)	subarred. (S)	arred. (S)	anguloso (S)
Esfericidade	baixa (S) alta (R)	baixa (S) alta (C)	baixa (S) alta (A)	baixa (S) alta (C)	alta (S) baixa (A)

mas características negativas se comparada às amostras anteriores:

- a) Não é homogênea; apresenta acamamento observável ao microscópio.
- b) Sua granulometria é maior (177-250  $\mu$ ).
- c) A esfericidade dos grãos é menor, mas ainda é superior à esfericidade das amostras restantes (ARS-1 e PSR-2).

Cabe frisar que tais “desvantagens” parecem ser compensadas pela seleção dos grãos, já que a amostra é a única que se apresenta “muito bem selecionada”.

#### *Amostra ARS-1*

A amostra ARS-1 (foto 7), apesar de apresentar a mesma granulometria de ARS-2 e ser até mais homogênea, é menos apta ao lascamento. A explicação parece residir em dois aspectos:

- a) Sua esfericidade é notadamente mais baixa (os grãos com alta esfericidade somam menos de 2%).
- b) O cimento silicoso é opalino, de natureza amorfa, e parece não gerar a mesma coesão entre os grãos que é observada nas outras amostras; macroscopicamente, percebe-se que é um arenito pouco coeso.

#### *Amostra PSR-2*

A amostra PSR-2 (foto 8) seria classificada como a menos apta ao lascamento, o que pode ser explicado pelos seguintes fatores:

- a) Não é homogênea; apresenta acamamento com grandes diferenças granulométricas.
- b) Sua granulometria é “média” (250-350  $\mu$ ), a maior do conjunto de amostras.
- c) O número de grãos arredondados é o maior de todo o conjunto (mais de 98 %). Os grãos subarredondados não chegam a 2 %.

## Conclusões

Por meio da observação macroscópica e microscópica das amostras de arenito silicificado, podemos tirar algumas conclusões:

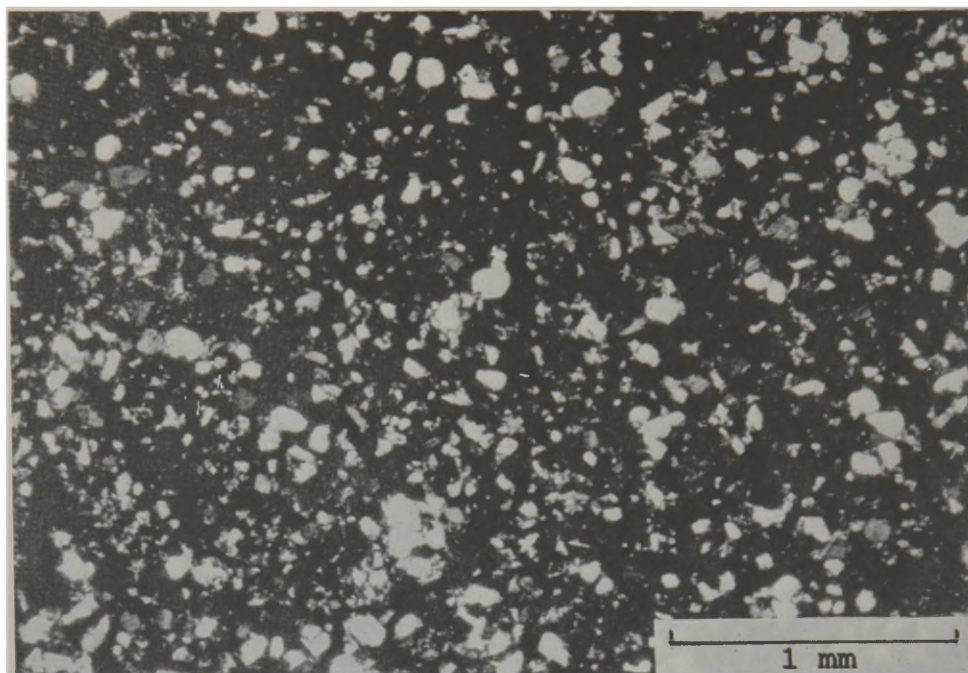
I- A granulometria parece ser, ao lado da silicificação, o fator mais importante na gênese de arenitos silicificados aptos ao lascamento.

II- A estrutura (homogênea ou estratificada) pode afetar o arenito de maneira mais ou menos intensa, dependendo da ordem das diferenças granulométricas existentes. No caso das amostras ARS-1 e ARS-2, apesar de a primeira apresentar-se mais homogênea, sua aptidão é inferior, devido provavelmente ao cimento silicoso amorfo. A estrutura, neste caso, não foi um fator preponderante.

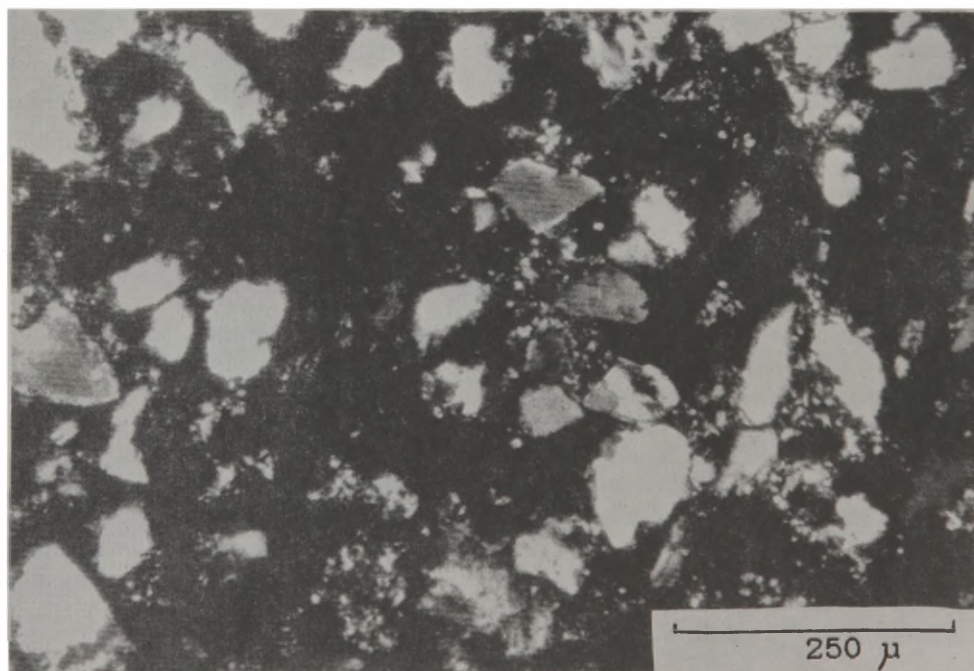
III- Fatores como seleção, arredondamento e esfericidade ficam um pouco mascarados pela ação dos outros já citados, e devem ter um papel mais enfático do que condicionador. Um arenito fino pode ter sua aptidão ao lascamento reforçada por uma boa seleção, por exemplo, mas um arenito com granulometria grossa, por mais bem selecionado que seja, dificilmente superará um arenito fino, mesmo que este último seja mal selecionado.

## Agradecimentos

Meus agradecimentos ao Prof. Dr. José Luiz de Moraes (MAE-USP) e ao Prof. Dr. Armando Marcio Coimbra (IG-USP) pela orientação neste trabalho. Ao geólogo Jáiro de Sant’Anna Taddeo, do IPT, devo as fotomicrografias das lâminas de rocha. Agradeço também à FAPESP pelo auxílio financeiro e ao Instituto de Geociências da USP pela confecção das lâminas e acesso a equipamentos.

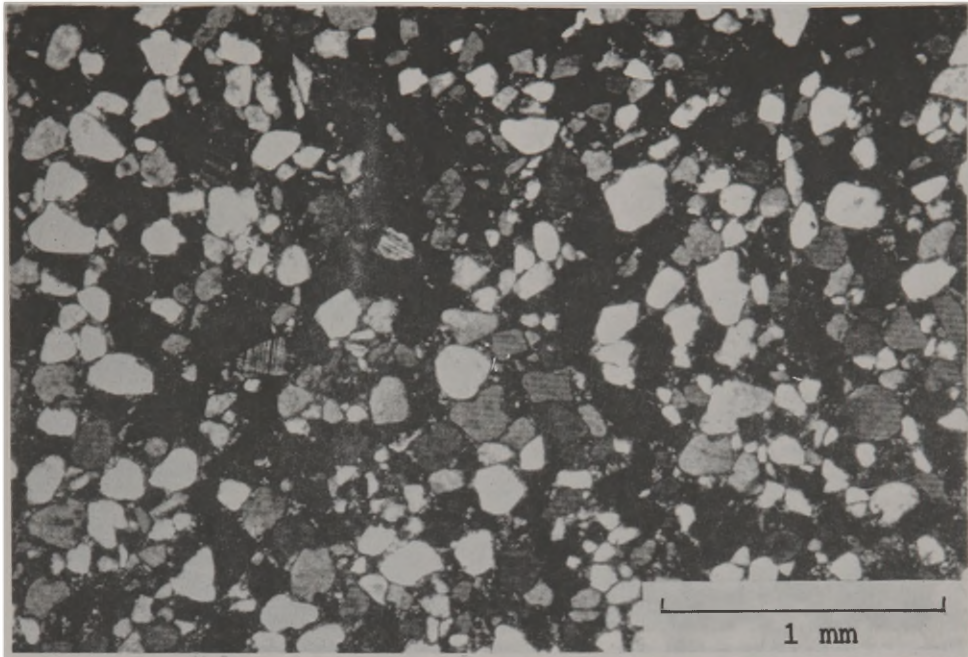


*Foto 1: Amostra AS-1. Objetiva 2,5 com nicóis cruzados. Pode-se visualizar a granulometria muito fina e a angulosidade dos grãos.*

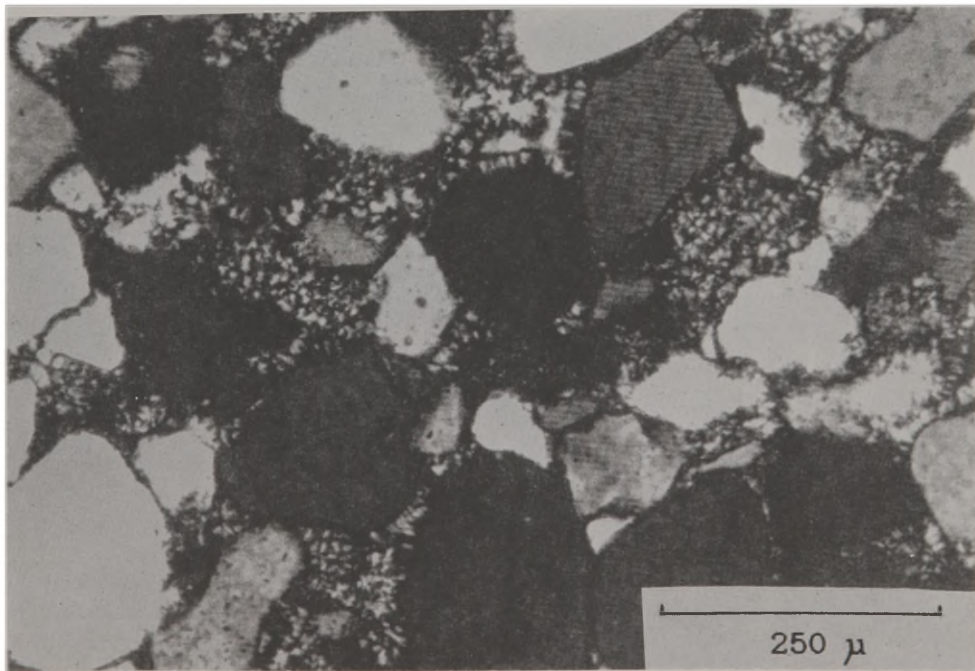


*Foto 2: Amostra AS-1. Objetiva 10 com nicóis cruzados. Detalhe do cimento silicoso, com presença de óxido de ferro.*

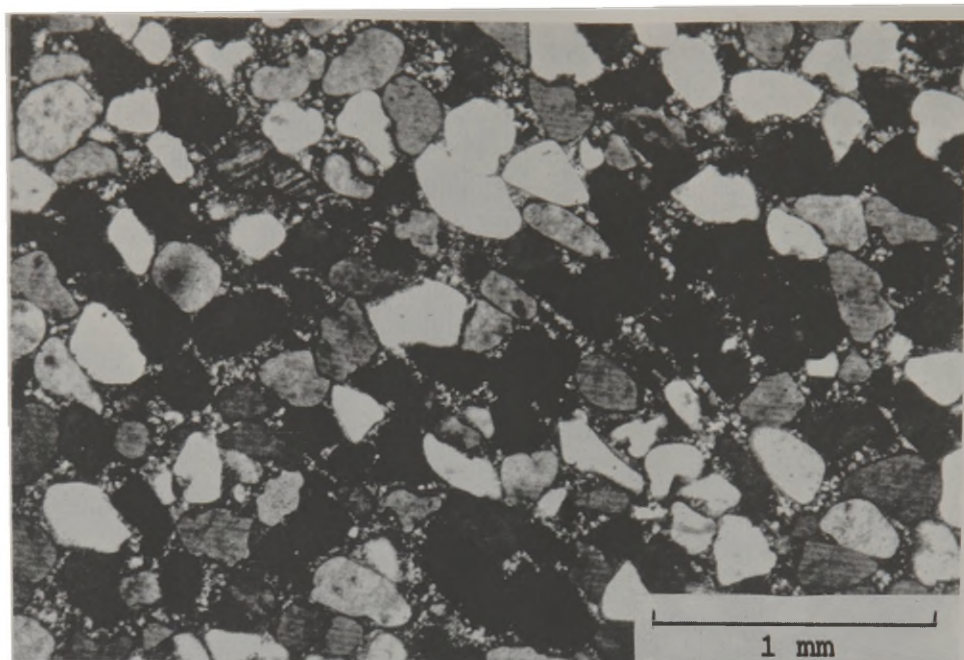




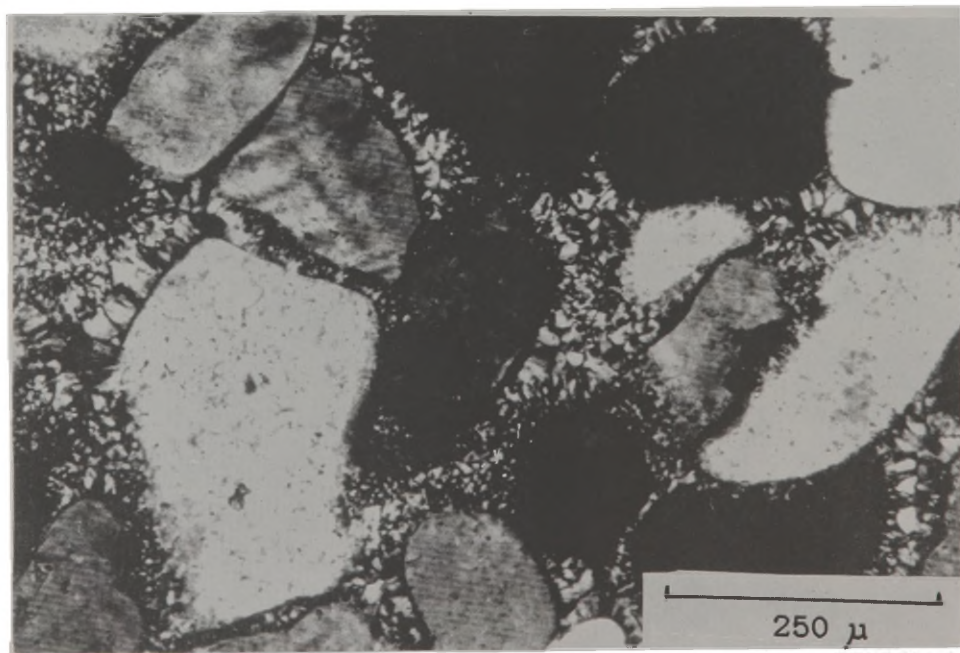
*Foto 3: Amostra PSR-1. Objetiva 2,5 com nicóis cruzados. Nota-se a alta esfericidade e a granulometria fina.*



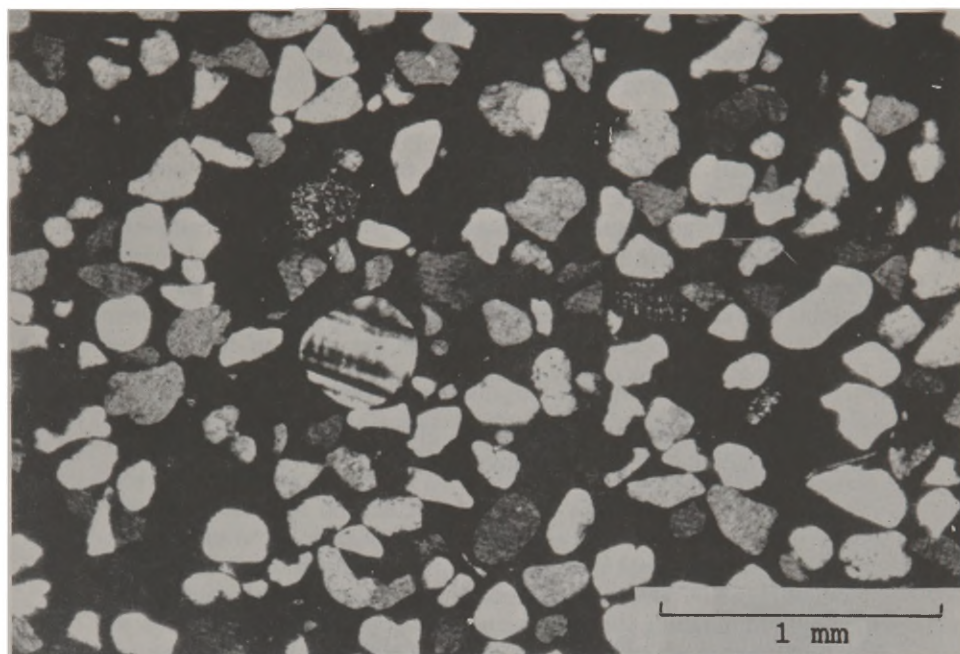
*Foto 4: Amostra PSR-1. Objetiva 10 com nicóis cruzados. Detalhe do cimento silicoso.*



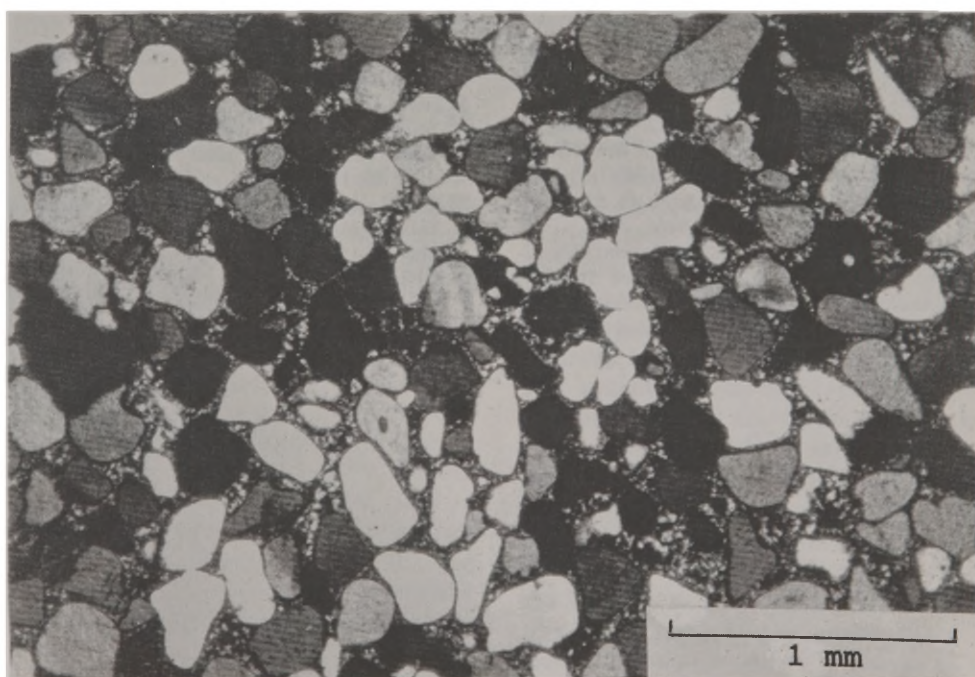
*Foto 5: Amostra ARS-2. Objetiva 2,5 com nicóis cruzados. Nota-se o arranjo preferencial dos grãos, no sentido diagonal da foto.*



*Foto 6: Amostra ARS-2. Objetiva 10 com nicóis cruzados. Detalhe do cimento silicoso.*



*Foto 7: Amostra ARS-1. Objetiva 2,5 com nicóis cruzados. O cimento silicoso opalino, por não possuir estrutura cristalina, aparece em negro.*



*Foto 8: Amostra PSR-2. Objetiva 2,5 com nicóis cruzados. Nota-se a grande quantidade de grãos arredondados, e a granulometria média.*

ARAÚJO, A. G. de M. The physical properties of silicified sandstone and their implications for flintknapping. *Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia*, S. Paulo, 2:61-72, 1992.

**ABSTRACT:** This article intends to present some results obtained from the study of silicified sandstones, a raw material that abounds in Southeastern Brazil. Thin sections of five samples of silicified sandstone with different degrees of knapping workability were compared, and the relationships between the workability and the physical characteristics of the samples (roundness, sphericity, grain size, etc.) was sought. The obtained results corroborate some hypothesis about these relationships, and opened a perspective in the study of the physical behaviour of this type of raw material.

**UNITERMS:** Silicified Sandstone; Flintknapping; Lithic Raw Material; Petrography of Siliceous Rocks.

#### Referências bibliográficas

- ADAMS, A.E. *et al.* *Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscope*. Longmans, London, 1984.
- COUTINHO, J.M.V. & COIMBRA, A.M. Os pesados do Barreiras na Costa Oriental brasileira: estudo de áreas-fonte. *Anais do XXVIII Congr. Bras. Geol.*, (5): 27-41, Porto Alegre, RS, 1974.
- CRABTREE, D.E. Notes on Experiments in Flintknapping : 3- The flintknapper's raw materials. *Tebawa*, 10 (1): 8 - 24, 1967.
- FÚLFARO, V.J. & SUGUIO, K. Geologia da região de Fartura. *Anais do XXVIII Congr. Bras. Geol.*, (4): 173-180, Porto Alegre, RS, 1974.
- IPT/PROMINÉRIO. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo - esc. 1:500.000*. 2 vols., 1981.
- MORAIS, J.L. *A Utilização dos Afloramentos Litológicos pelo Homem Pré-Histórico Brasileiro: Análise do Tratamento da Matéria-Prima*. Col. Museu Paulista, sér. Arqueologia, vol. 7, 1983.
- PALLESTRINI, L. *Sítio Arqueológico Fonseca*. São Paulo, Museu Paulista da USP, 1969.
- PARAGUASSU, A.B. Experimental silicification of sandstone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, (83):2853-2858, 1972.
- PETTIJOHN, F.J. *Sedimentary Rocks*. 3rd ed., Harper & Row, New York, 1975.
- PETTIJOHN, F.J. *et al.* *Sand and Sandstone Springer/Verlag*, New York, 1973.
- SCHOLLE, P.A. *A Color Illustrated Guide to Constituents, Textures, Cements and Porosities of Sandstone and Associated Rocks*. A.A.P.G., Memoir 28, 1979.
- SUGUIO, K. *Rochas Sedimentares : Propriedades, Gênese e Importância Econômica*. Edgard Blucher, São Paulo, 1980.
- SUGUIO, K. & FÚLFARO, V.J. Diques clásticos e outras feições de contato entre arenitos e basaltos da Formação Serra Geral. *Anais XXVIII Congr. Bras. Geol.*, (2):107- 112, Porto Alegre, RS, 1974.

*Recebido para publicação em 25 de agosto de 1992.*