

CONTROLE DE SISTEMAS DE AREIAS (1)

Claudio Luiz Mariotto (2)
Mauro Müller (3)

RESUMO

Expõem-se algumas das principais dificuldades inerentes ao controle tradicional de sistemas de areias através das propriedades e analisam-se resumidamente as variações de composição numa areia de sistema e algumas de suas implicações nas variações de propriedades.

Descreve-se, em seguida, um modelo matemático para as variações de composição de areias de moldagem, desenvolvido por Davies e complementado por Ojala e Shnay, assim como o modelo proposto por Vingas, para avaliação do grau de deterioração térmica de bentonitas, por efeito de reciclagem em fundição.

Examinam-se alguns métodos para determinação de variáveis de composição e comenta-se sua aplicação para o controle de sistemas de areias.

-
- (1) Contribuição Técnica apresentada ao Simpósio sobre Processos e Materiais de Moldagem. Blumenau, 26 a 28 de nov. de 1973.
 - (2) Membro da ABM. Eng^o Metalurgista. Pesquisador Coordenador, Centro de Pesquisas Tecnológicas da Fundição Tupy S.A.
 - (3) Membro da ABM. Técnico Metalúrgico. Chefe do Laboratório de Areias e Refratários da Fundição Tupy S.A.

1. INTRODUÇÃO

16

O controle dos sistemas de areias de moldagem baseadas no trinômio areia - argila - água é reconhecidamente complexo, não somente devido ao grande número de variáveis que envolve, mas também por causa das dificuldades encontradas na medida dessas variáveis e, às vezes, até na sua identificação. Na realidade, o problema da identificação das variáveis realmente significativas para o controle dos sistemas de moldagem complica-se ainda mais devido ao fato de que, não poucas vezes, se confunde variável independente com variável dependente. As causas dessas confusões não devem ser atribuídas a uma eventual falta de dados tecnológicos, pois estes existem em profusão. Talvez a superabundância de dados tecnológicos obtidos em condições fixadas de forma imperfeita tenha mascarado o real significado dos resultados. Isto ficou evidenciado em alguns trabalhos de Wenninger (1,2) que, através de procedimentos em que a energia de mistura foi levada a níveis suficientes para desenvolver praticamente todo o poder aglomerante das argilas e utilizando corpos-de-prova compactados a densidade constante (ao invés de energia de compactação constante) explicou certas discrepâncias de comportamento de bentonitas sódicas e cálcicas que contrariavam a teoria.

Mas durante muito tempo, a atenção dos estudiosos do assunto esteve desviada do tema principal - o efetivo controle de sistemas de areias - e procurou desenvolver ensaios tecnológicos que correlacionassem satisfatoriamente a teoria com o comportamento prático dos materiais comumente utilizados. O grande número de novos ensaios, se por um lado forneceu valiosas armas aos pesquisadores, por outro lado complicou, muitas vezes, o esquema de controle dos sistemas de areias das fundições sem prover uma solução definitiva para o problema.

A abordagem comumente adotada consistia em procurar manter constante um determinado conjunto de características tecnológicas (p.ex. permeabilidade, resistência à compressão a verde, deformação...). Mas existe uma larga faixa composicional que pode satisfazer essas condições, mas certamente não satisfaz uma série de outros requisitos tecnológicos importantes. Por exemplo, é sabido que a argila inerte ("queima-

da" ou desidratada) comunica uma certa resistência à compressão a verde e, portanto, o conhecimento dessa característica apenas, não fornece indício algum a respeito do estado do sistema de areias ou da composição real da areia de moldagem. Pela adoção desse tipo de abordagem, torna-se necessária, portanto, a determinação de um elevado número de características tecnológicas, cujos resultados só são disponíveis, via de regra, após a utilização da areia.

Há quase 10 anos passados já se indicavam as falhas desse tipo de método de controle e se afirmava que "infelizmente, o controle de areias de fundição se transformou numa pseudo - ciência em que se controlam as variáveis dependentes, representadas por propriedades físicas, ao invés de controlar as variáveis independentes que determinam essas propriedades" (3).

A qualquer fundidor moderno parecerá ilógico controlar a qualidade do metal contido num forno, prestes a ser vazado, através das propriedades mecânicas medidas sobre corpos-de-prova fundidos se dispuser de meios de controle direto através da composição. Mas, estranhamente, esse método não parece ilógico à maioria dos fundidores quando se trata de controlar o sistema de areias de moldagem.

Não se pretende de forma alguma afirmar que os ensaios físicos das areias de moldagem são destituídos de utilidade, mas seu significado fica bastante comprometido quando se desconhecem as variáveis independentes que os determinam, isto é, as variáveis ligadas à composição.

A intenção dos autores ao apresentar este trabalho é a de suscitar novas discussões em torno de um tema que lhes parece de extrema importância, que é o do controle dos sistemas de areias de moldagem através da composição.

2. VARIAÇÕES DE COMPOSIÇÃO NUMA AREIA DE SISTEMA

Uma areia de moldagem constituída inicialmente de areia base, argila e água em determinadas proporções, sofrerá variações de com-

posição à medida que for passando por ciclos de utilização numa fundição. Essas alterações de composição consistem essencialmente em (a) perda de umidade adsorvida sobre a argila e (b) perda de água de composição (hidroxilas) da argila. A primeira é de uma perda transitória: a água de adsorção perdida pode ser reposta no ciclo seguinte. A segunda perda é definitiva e a parcela de argila que teve sua água de composição removida torna-se permanentemente "inerte". Vê-se, portanto, que após a utilização repetida de uma areia de moldagem ela passará a conter uma parcela de argila inalterada ou "ativa" e uma outra parcela de argila "inerte". Essa alteração provoca deterioração das características físicas (4,5) até que, após um certo número de ciclos de reutilização da mesma areia, os valores dessas características atingem níveis intoleravelmente baixos. Se se tomar como base a resistência à compressão a verde, é possível restaurar o valor inicial através da adição de argila nova à mistura sempre que se constatar uma queda abaixo no valor desejado. Entretanto, com esse procedimento, haverá um acúmulo crescente de argila inerte na areia, com conseqüentes alterações em outras propriedades que poderão, por sua vez, ocasionar problemas de fundição, embora a resistência à compressão a verde tenha sido mantida dentro de estreitos limites.

Hofmann (6) demonstrou que a argila inerte não é removida no extrator de poeiras, devido ao fato de permanecer, em sua maior parte, aderida aos grãos de areia graças a um fenômeno de sinterização. Os grãos de uma areia repetidamente utilizada apresentam, portanto, um número cada vez maior de camadas envoltórias de argila inerte, que podem inclusive, envolver mais de um grão. O fenômeno foi batizado por Hofmann de "oólitização". A oólitização é benéfica até certo grau (6), pois promove uma considerável redução da expansão térmica. Quando excessiva, comunica baixa refratariedade ao sistema, resultando em penetração de metal, defeitos de escória e rugosidade; além disso, parte da água fica concentrada nos envoltórios mais ou menos porosos de argila inerte, favorecendo a ocorrência de rugosidade superficial nas peças. Deve existir, portanto, um determinado teor de argila inerte na areia que pode ser considerado ótimo ou, pelo menos, desejável. Para que

esse teor não seja ultrapassado, é necessário que se dilua o sistema com areia nova (isenta de argila inerte) que pode ser proveniente parcial ou totalmente da desmoldagem de machos.

Assim, para o controle da composição da areia do sistema, devem ser considerados o tipo e distribuição granulométrica da areia, o teor da umidade, o teor de argila inerte. Os fatores relativos à areia base e o teor de umidade podem ser - e são, normalmente - diretamente controlados; resta estabelecer uma sistemática para o controle da argila, ativa e inerte.

3. MODELO MATEMÁTICO PARA O EQUILÍBRIO DA ARGILA NUM SISTEMA DE AREIAS

Supondo que uma fundição trabalha seriadamente ou, pelo menos, possua linhas bem definidas quanto a tamanhos de peças produzidas, é possível imaginar que cada uma dessas linhas trabalha com relações metal/areia constantes. Nessas condições, a argila tornada inerte a cada ciclo de utilização da areia é aproximadamente constante, desde que a argila adicionada a cada ciclo seja constante. Para que se atinja um equilíbrio é necessário, então, que se mantenham constantes as perdas e as novas edições (tanto de areia quanto de argila).

Visando correlacionar todas essas variações, Davies (7) elaborou um modelo matemático que permitisse calcular a porcentagem da argila ativa no sistema após um número qualquer, n, de ciclos de utilização. Supondo que cada ciclo tem início no momento em que a areia deixa o misturador e chamado de

T = a porcentagem de argila ativa na areia no momento em que ela deixa o misturador;

A = a quantidade de argila ativa inicialmente presente, expressa como porcentagem da mistura original;

B = a quantidade de argila adicionada à areia em cada ciclo, expressa como porcentagem da areia que deixa o misturador;

R = a porcentagem de areia de moldagem perdida ou removida do sistema em cada ciclo e substituída por areia nova e argila, e

r = a porcentagem de argila permanentemente desidratada ou "queima-

da" (e, portanto, tornada inerte) em cada ciclo, pode-se deduzir

$$T = \frac{B}{1 - \frac{(100-R)(100-r)}{100}} \quad (I)$$

Concluiu-se, portanto, que o teor de argila ativa de equilíbrio não depende da porcentagem inicial de argila contida na areia original, mas sim das perdas e da renovação, desde que estas se mantenham constantes.

Ojala e Shnay estenderam o modelo matemático de Davies e deduziram a expressão da porcentagem de argila inerte no equilíbrio. Como a argila total do sistema compreende argila ativa e inerte, fazendo $r = 0$, a equação de equilíbrio para argila ativa transforma-se na equação de equilíbrio para a argila total. Denominando

C a quantidade total de argila, expressa como porcentagem da areia que deixa o misturador e

D a quantidade de argila inerte, expressa como porcentagem da areia que deixa o misturador.

$$\text{Obtém-se: } D = \frac{T \cdot r}{R} \frac{(100-R)}{100} \quad (II)$$

A representação gráfica das expressões I e II, para um teor de argila ativa no equilíbrio, \underline{T} , igual a 10%, é mostrada na fig.1 (3). O gráfico de controle proposto por Ojala e Shnay (3) combina portanto, quatro variáveis que descrevem as condições de equilíbrio de qualquer sistema de areia sintética areia-argila e os valores dados valem para 10% de argila ativa no equilíbrio. Para qualquer outro nível de \underline{T} , basta corrigir os valores multiplicando-os por $T/10$. As quatro variáveis representadas são a porcentagem de areia nova adicionada a cada ciclo \underline{B} , a porcentagem de argila tornada inerte a cada ciclo \underline{r} , a porcentagem de argila inerte no equilíbrio \underline{D} , e a porcentagem de argila adicionada a cada ciclo \underline{R} . Conhecidas duas quaisquer dessas variáveis, as outras duas podem ser tiradas do gráfico.

Com base no modelo proposto, pode-se conseguir manter o sis-

tema sob controle desde que seja possível determinar duas das quatro variáveis mencionadas mais o teor de argila ativa I.

Um outro modelo, proposto por Vingas (30), baseia-se num cálculo do volume de areia contido entre a isoterma 638°C, no caso de bentonitas sódicas naturais, ou a isoterma 316°C, no caso de bentonitas cálcicas, e a interface metal-molde. Como dentro desses limites toda bentonita, respectivamente sódica e cálcica, torna-se inerte, é possível calcular, aproximadamente, a quantidade (em Kg) de bentonita "queimada" por tonelada de metal fundido, para cada por cento de bentonita no sistema. Para peças com secções até 76mm, esses valores são iguais a 1,61 Kg/t. % argila e 2,75 Kg/t. % argila, respectivamente para bentonita sódica natural (Western) e cálcica. Para secções acima de 76mm até 127mm, o valor passa a 2,34 Kg/t. % argila para bentonita sódica natural (30). Esses valores são válidos para fundição de ferro fundido e aço.

Desde que a finalidade do controle do sistema de areias é a manutenção do equilíbrio de composição, deve-se antes de mais nada, fixar os objetivos que, em última análise se resumem à fixação dos teores de argila ativa e inerte (I e D) de equilíbrio. A porcentagem de argila tornada inerte a cada ciclo (r) é uma decorrência da forma de utilização da areia e pode ser medida, embora com alguma dificuldade, ou avaliada através de cálculo (32), como foi visto acima. E a partir desses 3 valores, determinam-se as porcentagens de adição de argila (B) e de areia nova (R) através do gráfico da fig. 1.

4. DETERMINAÇÃO DA ARGILA ATIVA

Vários métodos têm sido propostos para a determinação da argila ativa das areias de moldagem. Alguns dos primeiros métodos propostos eram por demais demorados, demandando mais de 24 horas (8) e impossibilitando sua utilização para o controle rotineiro.

O ensaio de argila AFS dá uma informação aproximada, se se considerar que a argila inerte praticamente não produz finos (6). Deve-se porém, deduzir o material combustível (ou volátil) eventualmente presente na argila AFS. A diferença entre as perdas por calcinação da areia

a não lavada e da areia lavada, corresponde ao material combustível presente na argila AFS. A diferença entre o valor desta e o do material combustível assim determinado, dá um valor aproximado da argila ativa presente na areia.

Um outro método (9) propõe a utilização de um densímetro para medir a quantidade de partículas menores que 5 micra, numa suspensão de areia de moldagem em água contendo um dispersante. O tempo de duração desse ensaio é de pouco mais de duas horas (incluindo 1 hora para secagem da amostra). A fixação do valor de 5 micra como dimensão máxima das partículas de argila ativa parece ser arbitrário e a literatura não apresenta nenhuma comparação com métodos mais diretos.

Os métodos mais precisos para determinação de argila ativa parecem ser aqueles que, de alguma forma, medem a quantidade de íons trocáveis da argila. Como se sabe, o máximo poder aglomerante das argilas está relacionado com sua capacidade de interação iônica com as moléculas de água e esta, por sua vez, está diretamente relacionada com "capacidade de troca de cátions" da argila.

Dentre esses métodos, os mais convenientes para utilização na rotina de controle são:

- a) a medida da adsorção de azul de metileno e
- b) a medida da condutividade elétrica de suspensões de argila.

Ambos apareceram quase simultaneamente a cerca de seis anos (10, 11), e são equivalentes quanto aos resultados que se obtém (12).

Entretanto, a preferência dos fundidores parece ter recaído sobre o primeiro método. A literatura apresenta várias avaliações do método do azul de metileno (13, 14, 15) e, em 1971, uma das Comissões Técnicas da AFS recomendou seu uso para a determinação da durabilidade de argilas (16). O método usado atualmente, foi aperfeiçoado em relação ao proposto em 1966 (17); a modificação consistiu, em essência, na mudança da solução preliminar (H_2SO_4 para pirofosfato Na) e na utilização de um sistema mais efetivo de dispersão das partículas de argila por meio de ultra-som. A principal vantagem do método modificado é a de que tanto as bentonitas sódicas quanto as cálcicas respondem de forma praticamente idêntica ao ensaio (17), enquanto que no ensaio inicialmente

proposto, as bentonitas cálcicas consumiam cerca de metade do azul de metileno requerido pelas sódicas.

As figuras 2 e 3 apresentam correlações entre o azul de metileno adsorvido e a temperatura de pré-calcinação de algumas bentonitas nacionais e estrangeiras. Pode-se ver que o ensaio é capaz de retratar a destruição parcial do poder aglomerante dessas argilas pelo aquecimento a temperaturas elevadas. As figuras 4 e 5 mostram as correlações obtidas entre as resistências à compressão a verde e a seco e a quantidade de azul de metileno adsorvido. Essas figuras mostram que, para efeitos práticos, os valores de resistência variam linearmente com a adsorção de azul de metileno até que esta chegue próximo ao seu máximo; no nível máximo da adsorção de azul de metileno, verifica-se uma flutuação dos valores de resistência que parece depender apenas da temperatura de pré-calcinação da argila, e que pode ser explicada pelo fato de que à medida que aumenta a temperatura de pré-calcinação, maior quantidade de água sorvida é removida da argila. Como a argila a ser misturada à areia foi pesada após a calcinação, a quantidade de argila efetivamente adicionada foi tanto maior quanto maior a temperatura de calcinação. Para cada tipo de argila, a transição se dá a uma determinada temperatura: cerca de 400°C para as bentonitas cálcicas, 500°C para as sódicas ativadas. As figuras 2 a 5, portanto, servem para confirmar a capacidade que tem o ensaio de adsorção de azul de metileno, de indicar a quantidade total de argila ativa no sistema e, ao mesmo tempo, prover um método de avaliação de durabilidade de diversas argilas.

Esse ensaio constitui-se, em particular, numa ferramenta adequada para determinar o valor de r da expressão I (v. § 3), bastando, para isso, efetuar o ensaio antes e depois da fundição.

5. DETERMINAÇÃO DA ARGILA INERTE

Já se comentou, no parágrafo 2, a ocorrência da oolitização demonstrada por Hofmann (6) e se ressaltou o fato de que a argila inerte permanece aderida à superfície dos grãos de areia por efeito de sinterização. Desde que esses envoltórios, constituídos essencialmente de

argila inerte, são dotados de poros fechados em sua maior parte, a sua densidade é menor que a teórica. Portanto, a densidade aparente dos grãos oolitizados é menor que a densidade da sílica; esse fato pode ser utilizado como uma medida do grau de oolitização e, portanto, da quantidade de argila inerte (6).

Mais simples, se bem que menos precisa, é a avaliação da quantidade de argila inerte através do peso do corpo-de-prova padrão após 3 pancadas. Desde que os outros fatores que também influem no seu valor (distribuição granulométrica, tamanho médio de grão e teor de umidade) sejam mantidos dentro de limites estreitos - o que, em geral, acontece - a correlação entre o peso do corpo-de-prova e o teor de argila inerte é bastante boa (6).

6. ARGILA EFETIVA E ARGILA LATENTE

A preocupação dos fundidores com os efeitos do tempo de mistura sobre as propriedades das areias aglomeradas com argila não é recente e tem motivado estudos frequentes (18, 1, 2, 19, 20, 21, 22, 23). A antiga idéia de que o tempo de mistura em excesso prejudica as propriedades da areia de moldagem carece de base, em vista dos estudos fundamentais sobre os sistemas areia-argila-água. Pelo contrário, sabe-se hoje que, desde que se evite que a umidade varie excessivamente, as propriedades de resistência tendem a aumentar com o tempo de mistura, aproximando-se assintoticamente de um valor máximo. Assim, os valores das propriedades de uma mistura areia-argila-água dependem, não apenas das proporções de seus constituintes, mas também do tempo de mistura ou - mais genericamente - da energia consumida pela mistura durante o preparo. Isto se deve ao fato de que uma argila só desenvolve o máximo de seu poder aglomerante quando suas partículas atingirem um grau extremo de sub-divisão, expondo assim, a maior superfície possível à interação iônica com a água. E, para um determinado equipamento de mistura, o grau de sub-divisão das partículas de argila depende do tempo de mistura. Conclui-se, portanto, que após um certo tempo de mistura, uma parte da argila ativa total está suficientemente sub-dividida ou dispersa para

desenvolver forças de ligação, enquanto que uma outra parte ainda está agrupada demais para poder interagir com a água e o seu efeito para a aglomeração do sistema pode ser desprezado. À primeira parcela deu-se o nome de "argila efetiva" (24). A outra parcela foi denominada "argila latente" e seus efeitos têm sido mencionados na literatura: rápida secagem da areia moldada, principalmente em cantos externos (17); movimentação das paredes do molde com conseqüente perda das dimensões da peça (25, 26); dificuldade de desmoldagem (25), além dos defeitos decorrentes de alta umidade devida à quantidade total de argila maior que a necessária e defeitos de escória provocados pelos grumos de argila consolidados por secagem e reciclados (27).

Essas considerações levam a concluir que estabelecer controles apenas para a argila ativa não é suficiente: é necessário que se controle também a argila efetiva e a argila latente. Como não se conhece meio de medir diretamente a argila latente, é necessário que se conheça a argila ativa e a argila efetiva, para que, por diferença, se deduza o valor da argila latente. Segundo a literatura isto pode ser conseguido através das relações resistência à compressão a verde x resistência ao cisalhamento a verde (24) ou resistência à compressão a verde x compactabilidade (28,29) e utilizando nomogramas publicados na literatura. Esses métodos dão resultados diferentes, o que dá a entender que um deles não é correto. O primeiro deles é totalmente empírico, enquanto que o segundo foi desenvolvido em condições ditadas por conhecimentos científicos a respeito das interações entre argila e água (2).

7. OUTROS CONSTITUINTES

São muito raros os sistemas de areias de moldagem constituídos unicamente por areia, argila e água, de modo que o controle dos sistemas reais é mais complexo do que o que foi descrito nos parágrafos anteriores.

Além dos constituintes anteriormente mencionados, uma areia desistema contém, muitas vezes, aditivos orgânicos ou produtos de sua decomposição, partículas metálicas e, mais raramente, aditivos minerais.

Entre os primeiros estão o carvão, a serragem, os amidos de cereais, etc., que dão alguns produtos de decomposição que permanecem na areia, como carbono, alcatrões, cinzas etc.

As partículas metálicas são principalmente provenientes da desmoldagem. No caso da fundição de ferrosos, as partículas metálicas podem ser removidas por meios magnéticos.

Os aditivos minerais são mais raramente empregados: um exemplo é o carbonato de sódio, usado para ativar argilas e/ou diminuir a penetração, e que pode ser avaliado através do pH (31).

A avaliação das substâncias orgânicas pode ser facilmente efetuada se se agrupar a sua determinação em termos de materiais voláteis (condensáveis ou não - condensáveis), combustíveis etc, mas não se dispõe, ainda, de método simples para determinar separadamente os teores de vários materiais orgânicos que possam estar presentes numa areia de moldagem.

8. CONCLUSÕES

a) A importância da composição da areia tem sido frequentemente ressaltada; é sabido que se pode reproduzir um determinado conjunto de propriedades com diferentes composições. Mas para idênticas composições e idênticos procedimentos e equipamento de preparo, as propriedades serão praticamente iguais.

b) Têm-se desenvolvido vários ensaios para determinação de propriedades na tentativa de permitir melhor controle sobre os sistemas de areias. Mesmo assim, as fundições continuam, eventualmente, apresentando surtos de defeitos atribuíveis à areia de moldagem, sem que se observem variações notáveis nas propriedades controladas, deixando claro que estas nem sempre refletem certas variações composicionais importantes.

c) A idéia do controle de sistemas de areia através da composição, com base num modelo matemático para o equilíbrio da argila ativa, foi apresentada por Davies (7). Ojala e Shnay (3) e Vingas (30) estenderam o modelo para o equilíbrio da argila inerte.

d) O controle das areias de moldagem através da composição já tem sido aplicado de forma parcial (31, 32) ou total (14). Os relatos da literatura tem associado a adoção desse tipo de controle com diminuições significativas do número de defeitos em peças fundidas.

e) Para que se possa confiar inteiramente num sistema de controle através da composição, independentemente do controle das propriedades, é necessário que se disponham de meios para determinação das variáveis relativas aos grãos de areia, da umidade, dos teores de argila em seus diversos estados ou formas ("ativa", "inerte", "efetiva", e "latente"), dos materiais combustíveis e voláteis e, eventualmente, de outros possíveis constituintes.

Como controle adicional, é desejável a verificação periódica do desempenho do equipamento de mistura (23,32).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Direção da Fundição Tupy S.A. a permissão para publicar este trabalho e à sua Área de Tecnologia o apoio para algumas verificações experimentais.

BIBLIOGRAFIA

1. WENNINGER, C.E. - Some newly developed concepts for green sand bonding - AFS Trans., 71, 177 (1963).
2. WENNINGER, C.E. e LANG, W.J. - Sand-Bentonite-Water research and basic clay-water concepts - AFS Trans., 72, 39 (1969).
3. OJALA, T.J. e SHNAY, R.C. - Equilibrium in foundry system sand - AFS Trans., 72, 641 (1964).
4. SANDERS, C.A. e DOELMAN, R.L. - Durability of bonding clays - AFS Trans., 75, 408 (1967).
5. OUTHWAITE, J. - Impact testing for green sand stripping properties - AFS Trans., 75, 47 (1967).
6. HOFMANN, F. - Property changes and conditioning of repeatedly circulating foundry system sand - AFS Trans., 75, 338 (1967).
7. DAVIES, W. - Foundry Sand Control (United Steel Companies Ltd.) 1950, p. 135.
8. DAVIES, W. - Op. cit. (7) p. 206

9. PHILLIPS, D.R. - Method of determination of clay and other separates, AFS Trans., 79, 335 (1971).
10. YEARLEY, B.C. - Sand testing can be improved - Foundry, jan. 1967, p. 84.
11. SODERLING, L.A. - New Method determines active clay in molding sands - AFS Trans., 74, 23 (1966).
12. DATTA, G.L. - Determining clay characteristics by electrical conductivity - Foundry, mar. 1970, p. 130.
13. HOFMANN, F., SCHALLES, D., KOTTENHAHN, H. e MORCDS, S. - Die adsorption von Methylenblau an Kaolin Ton und Bentonit - Giesserei, 54, 97-101, (1967).
14. BOCK, W.K. - Sand control by analysis - Foundry, nov, 1967.
15. TARQUINO, T. e BOLDING, D. - Sand control with the methylene blue test - Foundry, fev. 1969, p. 119-124.
16. AFS MALLEABLE SAND SYSTEMS CONTROL COMMITTEE - Evaluation of thermal durability characteristics of Na bentonites - AFS Trans., 79, 337 (1971)
17. DIETERT, H.W., GRAHAM, A.L. e SCHUMACHER, J.S. - A new methylene blue procedure for determination of Clay in system sands - AFS Trans., 78, 208-212 (1970).
18. DAVIES, W. - op. cit (7) p. 54.
19. SANDERS, C.A. e DOELMAN, R.L. - Durability of bonding clays - Part V: Durability characteristics of twenty-nine commercial clays - AFS Trans., 76, 334 (1968).*
20. WENNINGER, C.E. - Green Sand processing: an introduction to current fundamental thinking - AFS Trans., 76, 521 (1968).
21. DRAPER, A.B. e FEHRENBACH, J. - Green compression strength as a function of coating thickness and points of contact - AFS Trans., 76, 529 (1968);
22. ZRIMSEK, A.H. e VINGAS, G.J. - Systematic approach to sand design and control - AFS Trans., 68, 440 (1960).
23. TROY, E.C. e FERENCY, D.L. - A mulling index applied to Sand-water-Bentonite - AFS Trans., 79, 213 (1971).
24. HEINE, R.W., KING, E.P. e SCHUMACHER, J.S. - Molding sand control by green compressive and shear strengths testing - AFS Trans., 68, 86 (1960).
25. SCHUMACHER, J. - Clays and binders today and tomorrow - Technical Report n° 12 (1965).
26. HENSCHEL, C., HEINE, R.W. e SCHUMACHER, J.S. - Effect of clay on mold dilation and casting dimensions - AFS Trans., 75, 493 (1967).
27. PARKES, W.B. - Behaviour of clay bonded sands in a foundry - BCIRA Journal 9, 461 (1961).

28. WENNINGER, C.E. e VOLKMAR, A.P. - A new control tool: a graph for evaluating effectiveness of available bentonite within foundry system sands - AFS Trans., 78, 17 (1970).
29. GREEN R.A. - New sand control procedures - Foundry nov. 1971, p.61.
30. VINGAS, G.J. - Sand control of green system by a simple inventory method - AFS Trans., 78, 213 (1970).
31. DIMITRIJEVIC, Z. - Investigation of factors influencing metal penetration - Foundry Trade Journal, Jun. 28, 1973, p. 811.
32. PHILLIPS, D.R. - Sand Control by independent variables - AFS Trans., 78, 251 (1970).

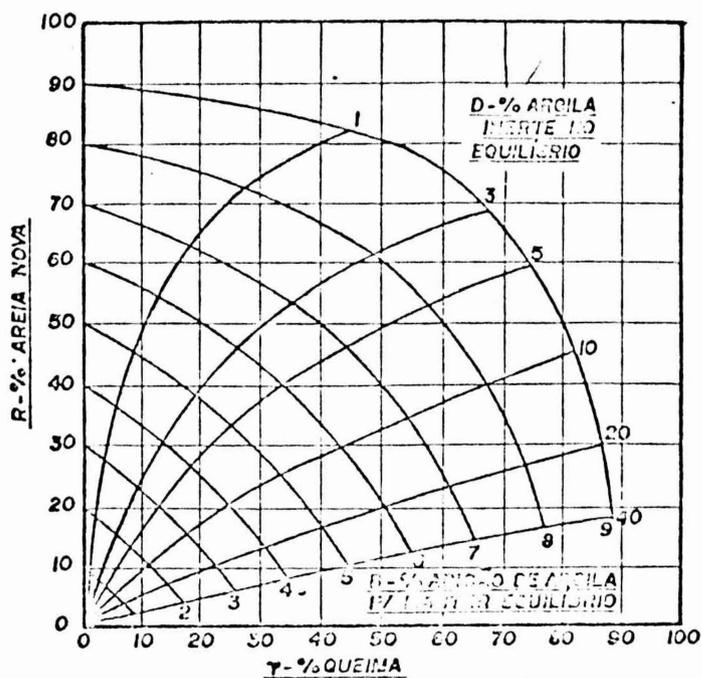


Fig. 1 - Gráfico representativo das condições de equilíbrio de um sistema de areia aglomerada com argila, para um teor de argila ativa no equilíbrio igual a 10%. Para qualquer outro valor de I , multiplicar os valores de B e D , no gráfico, por $T/10$.
(3).

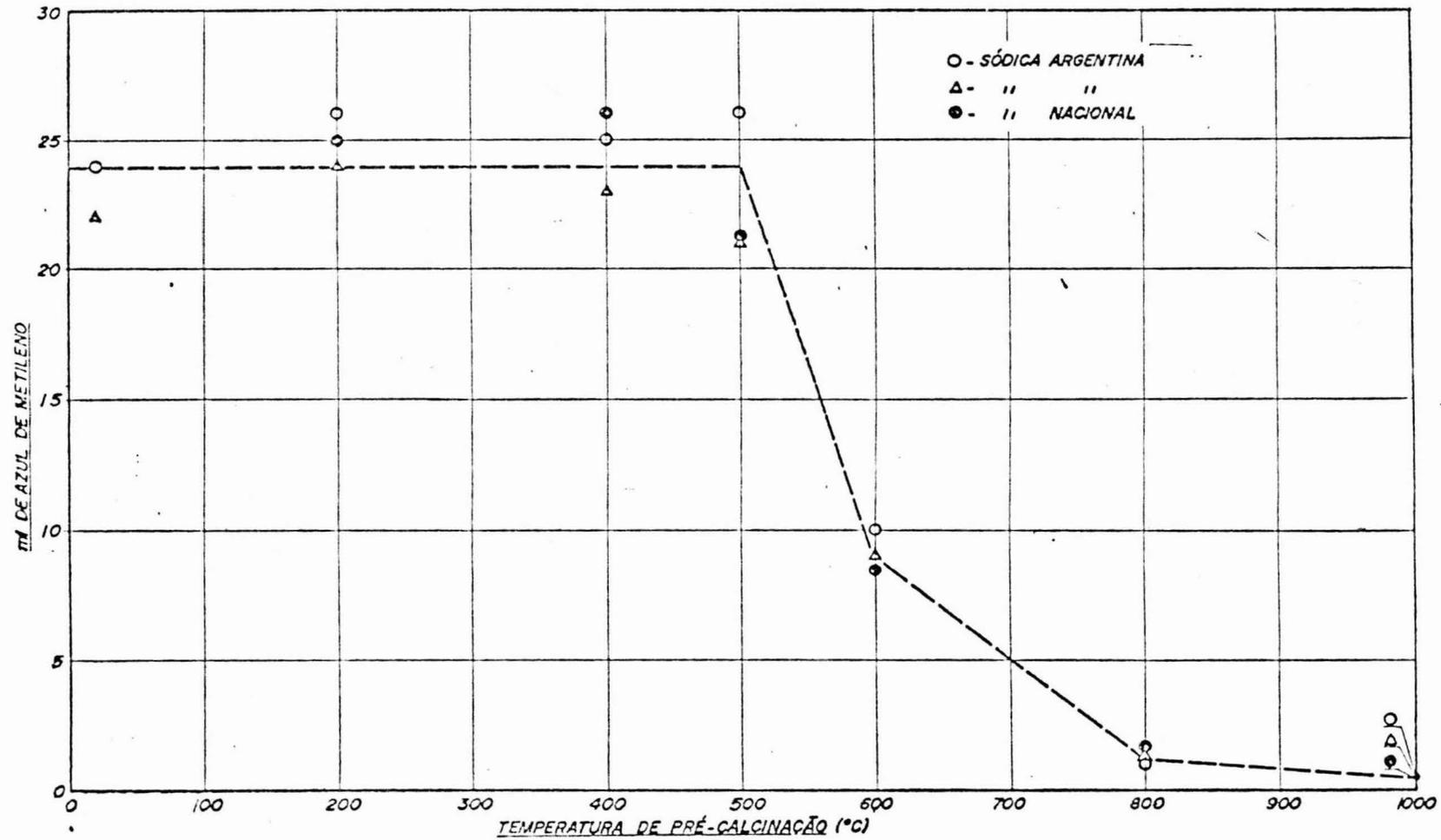


Fig. 2 - Variação da quantidade de azul de metileno adsorvido por bentonitas sódicas (ativadas) em função da temperatura a que estas foram pré-calcinadas antes do ensaio.

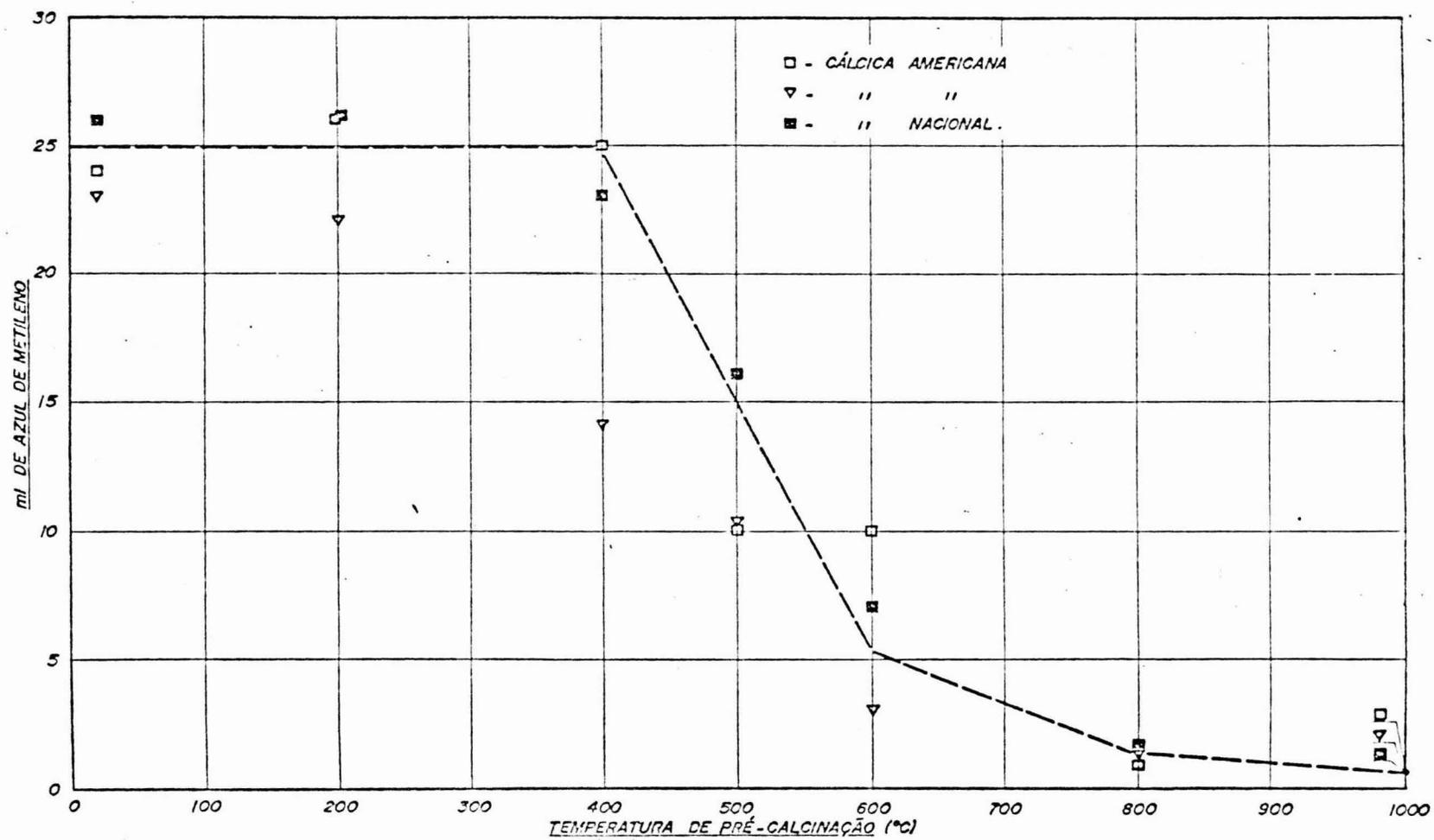


Fig. 3 - Variação da quantidade de azul de metileno adsorvido por bentonitas cálcicas em função da temperatura de pré-calcinação.

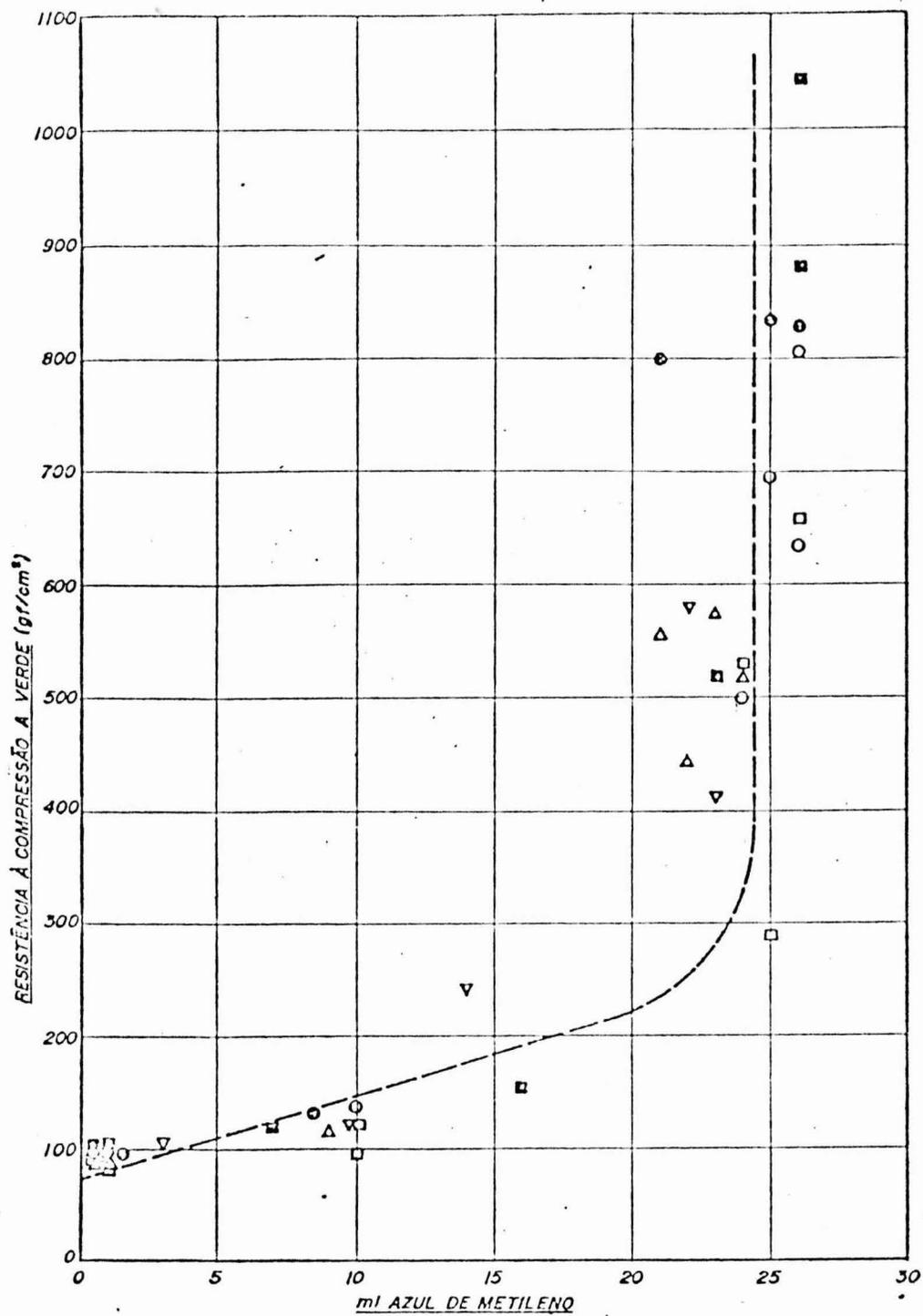


Fig. 4 - Correlação entre resistência à compressão a verde e adsorção de azul de metileno para bentonitas sódicas e cálcicas pré-calcinadas nas mesmas temperaturas que as das Figs. 2 e 3.

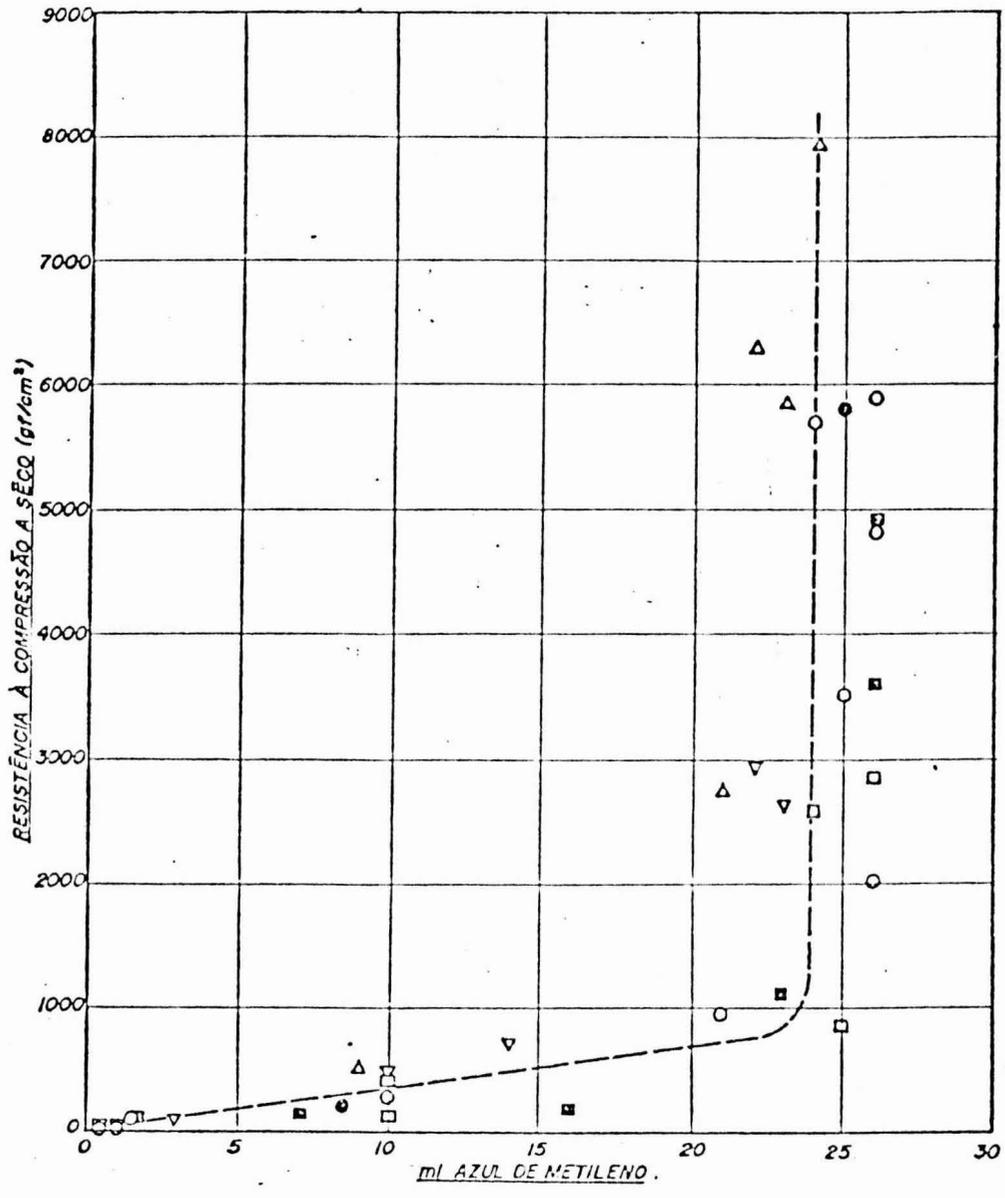


Fig. 5 - Correlação entre resistência à compressão a seco e adsorção de azul de metileno para bentonitas sódicas e cálcicas pré-calcinadas nas mesmas temperaturas que as das Figs. 2 e 3.