

MASSAS PARA TAMPONAMENTO DE FUROS DE CORRIDA DEALTOS-FORNOS

Roberto Elísio Trópia Reis⁽¹⁾
Elcio Alves Ribeiro de Carvalho⁽²⁾
Júlio Souto Mayor Neto⁽³⁾
Alamar Kasan Duarte⁽⁴⁾

RESUMO

As massas de tamponamento de furo de corrida tem desempenhado um importante papel na operação dos Altos-Fornos modernos, do ponto de vista de estabilidade operacional, produtividade e segurança na área de trabalho. O controle rígido destas massas durante a fabricação, embalagem e estocagem, assim como as suas características intrínsecas e as práticas operacionais em sua aplicação, são responsáveis por este desempenho. São discutidos neste trabalho estes aspectos globais que afetam o bom comportamento destes produtos assim como as anormalidades que normalmente aparecem com o uso, suas causas e maneiras de solucioná-las.

-
- (1) Engenheiro Metalúrgico; Assistente Técnico do Departamento de Assistência Técnica da MAGNESITA S.A.
 - (2) Químico; Assistente de Pesquisas do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento da MAGNESITA S.A.
 - (3) Engenheiro Metalúrgico; Assistente Técnico do Departamento de Assistência Técnica da MAGNESITA S.A.
 - (4) Engenheiro Metalúrgico; M. Sc. em Engenharia Cerâmica; Gerente da Divisão de Pesquisas do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento da MAGNESITA S.A.

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as capacidades produtivas dos Altos-Fornos sofreram um aumento sensível, devido ao aparecimento de equipamentos mais modernos e desenvolvimento de novas técnicas operacionais. Como resultado, as massas de tamponamento de furo de corrida vieram ocupar importante papel na operação destes Altos-Fornos, do ponto de vista de estabilidade operacional, produtividade e segurança na área de trabalho.¹

Essas massas são classificadas como materiais refratários plásticos, desenvolvidos especificamente para o tamponamento de furos de corrida de Altos-Fornos. Elas devem ainda permitir uma recomposição do furo para o vazamento de gusa e escória. A regularização da marcha de um Alto-Forno é fator diretamente ligado à sua boa produtividade, portanto a qualidade das massas de tamponamento dos furos é de vital importância para o seu bom desempenho.

Atualmente os Altos-Fornos vem operando com pressões de topo cada vez mais elevadas, visando aumento da produtividade e conseqüentemente um maior número de vazamentos/furo/dia (Ver Fig.1), acarretando maiores volumes de metal produzido e submetendo os furos de vazamento à solicitações cada vez mais intensas. Por este motivo, exigem-se massas de tamponamento que ofereçam maior estabilidade operacional, resistência e durabilidade.²

O objetivo deste trabalho é o de discutir aspectos da fabricação, embalagem, estocagem e características intrínsecas, importantes na qualidade destes produtos. Serão ainda discutidos detalhes de aplicação destas massas e anormalidades que aparecem nos furos de corrida, suas causas e maneiras de solucioná-las.

2 - FABRICAÇÃO, EMBALAGEM E ESTOCAGEM

2.1 - Fabricação - As principais matérias-primas empregadas na fabricação de massas de tamponamento de furos de corrida de Altos-Fornos são compostas de agregados refratários sílico-aluminosos, aluminosos, carbureto de silício, nitretos, além de ma

teriais carbonosos, ligantes e aditivos especiais. O controle destas matérias-primas constitui-se basicamente em análise química, distribuição granulométrica e difração de raios-X. O controle das propriedades físicas e químicas do piche, geralmente usado como ligante, é de grande importância.

Massas capazes de reunir características específicas para diferentes Altos-Fornos são preparadas variando convenientemente a qualidade, quantidade e distribuição granulométrica destes componentes. Altos-Fornos com condições operacionais mais severas exigem massas contendo maiores quantidades de agregados refratários e aditivos mais nobres (Ver Fig.2). Cada fabricante possui sua própria tecnologia de fabricação, controlando durante a mesma e posteriormente, características que vão ter ligação direta com métodos de utilização e desempenho das massas em uso nos Altos-Fornos.³

Massas de tamponamento devem também apresentar elevada constância de qualidade. De modo a evitar variações de qualidade de lote a lote, um controle rígido de fabricação deve ser executado. Os principais ítems controlados são:

- Velocidade, temperatura e Índice de extrusão que vão dar indicação da trabalhabilidade da massa no momento de injeção.

- Variação de Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Resistência à Compressão à Frio após tratamento térmico em diversas temperaturas, que vão dar uma indicação da capacidade de sinterização da massa.

- Composição química e mineralógica, resistência mecânica à quente e teste de escorificação, que vão dar indicação quanto à durabilidade da massa em uso.⁴

2.2 - Embalagem e Estocagem - Massas de Tamponamento são normalmente produzidas em forma de tarugos, envolvidas em plásticos, sendo geralmente enviadas aos clientes em embalagens hermeticamente fechadas. Este tipo de embalagem visa evitar absorção de umidade pela massa, que pode provocar uma deterioração de sua qualidade em estoque.

O tempo de estocagem é um parâmetro importante a ser

considerado pelo usuário, que deve inclusive programar uma rotatividade da massa em estoque. Este controle é importante, devido à possibilidade de deteriorização da massa, com perda de suas características, se ocorrer ultrapassagem do tempo máximo previsto para sua estocagem (Ver Fig.3). As principais implicações seriam: dificuldade de injeção, variação na taxa de sinterização e menor durabilidade.

3 - CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DA MASSA

3.1 - Trabalhabilidade - Um adequado fechamento e abertura do furo de corrida é um pré-requisito para uma operação estável do Alto-Forno. Ajustes na qualidade e quantidade do piche adicionado à massa (Ver Fig.4), evita problemas de fechamento causados pela baixa trabalhabilidade da massa, acima da capacidade de injeção do canhão. Um defeito no fechamento do furo pode afetar o seu comprimento, reduzir o tempo de vazamento com a consequente diminuição no volume de gusa vazado. Como resultado, a abertura do próximo furo deverá ser mais rápida, acarretando uma instabilidade na operação do Alto-Forno.

Os canhões usados na injeção destas massas variam em potência. Massas de tamponamento de plasticidade variável têm sido usadas dependendo da capacidade do canhão. Como regra básica, a massa deve ter a menor plasticidade possível, no limite da capacidade do canhão. Uma massa menos plástica tem em geral um menor teor de voláteis, menor emissão de fumaça, maior densidade, menor porosidade, maior taxa de sinterização e melhor durabilidade.

Para controlar a trabalhabilidade destas massas é recomendável medir sua resistência à extrusão (MPa) usando métodos de testes específicos. Neste caso, uma severa especificação da temperatura de teste é necessária, porque os resultados variam largamente com a temperatura do instrumento e amostras (Ver Fig. 5). Desde que a trabalhabilidade destas massas, compostas do mesmo agregado refratário e tendo a mesma distribuição granulométrica, pode frequentemente variar com o método de fabricação e período em estoque, sua fabricação e armazenamento devem ser rigorosamente controlados.

3.2 - Sinterização - Geralmente, quanto mais alta a taxa de sin

terização, maior segurança é apresentada pela massa. A taxa de sinterização mínima que a massa deve ter é determinada pela rotina de vazamento. Em operações atuais, os furos são frequentemente abertos em intervalos muito curtos. Portanto, massas de tamponamento devem ter alta sinteribilidade, isto é, habilidade para sinterizarem em um curto intervalo. Devido ao uso de elevadas pressões de topo na operação de modernos Altos-Fornos, uma sinterização lenta pode provocar uma abertura espontânea do furo. Estas massas devem ainda apresentar características de boa adesão à massa remanescente além de boa estabilidade volumétrica, de maneira que ao sinterizar formem um corpo único.

As causas possíveis que afetam a taxa de sinterização e a resistência após sinterização de uma determinada massa são sua umidade, o teor de materiais voláteis e sua distribuição granulométrica. A umidade de uma massa é proveniente dos agregados refratários, materiais carbonosos e piche. A presença de umidade prejudica as características físicas da massa, diminui a taxa de sinterização e causa queda em durabilidade. O teor de materiais voláteis depende da qualidade e quantidade de piche. É um importante fator relacionado com a qualidade da massa, afetando diretamente sua sinteribilidade, densidade, porosidade, (Ver Fig.6), permeabilidade e durabilidade em uso, além de causar emissão de fumaça. Embora a sinterização seja facilitada pelo uso de partículas finas, deve ser lembrado que isto frequentemente aumenta a quantidade de piche necessária, o que retarda a sinterização.⁵

Para facilitar a evaporação de materiais voláteis na massa, sua permeabilidade deve ser preferencialmente alta. A permeabilidade aumenta com a temperatura e diminui quando a sinterização avança para um extremo (Ver Figs.7,8,9). Resultados mostram que a permeabilidade passa por um máximo à 1200°C. Desde que os materiais voláteis evaporam em grande parte em baixas temperaturas, a permeabilidade nestas temperaturas deve ser preferencialmente alta enquanto que em elevadas temperaturas uma alta permeabilidade é indesejável. Uma baixa permeabilidade não constitui obstáculo em serviço quando a quantidade de materiais voláteis for suficientemente baixa. Massas de alta porosidade geralmente possuem boa permeabilidade, embora massas de

baixa porosidade possam também apresentar boa permeabilidade (Ver Fig.10).

3.3 - Durabilidade - Massas de tamponamento devem apresentar alta durabilidade. A recente tendência para uso de altas pressões de topo na operação de Altos-Fornos, tem aumentado a vazão de metal quente e a intensidade do desgaste do furo. Portanto, materiais com elevada estabilidade química e resistência à erosão frente ao gusa e escória são indispensáveis. Apesar deste fato, método conveniente combinando o teste de corrosão química e erosão são raros.

Para aumentar a durabilidade de massas de tamponamento, a porosidade aparente deve ser a mais baixa possível. Esta porosidade é consequência do método de fabricação e distribuição granulométrica dos agregados refratários, materiais carbonosos, aditivos especiais e quantidade de piche. A quantidade de piche adicionada depende da distribuição granulométrica e trabalhabilidade desejada da massa. À medida que a quantidade de piche aumenta, o teor de materiais voláteis aumenta, aumentando a porosidade. A Fig.6 mostra a relação entre a quantidade de materiais voláteis e porosidade aparente após tratamento térmico à 1200°C.

Massas de tamponamento tem em geral uma porosidade aparente de 20 a 30% na face quente (temperatura de uso). Ao discutir durabilidade da massa deve-se considerar as suas propriedades em serviço levando-se em conta que as mesmas estão sofrendo variações, por causa da absorção de gusa e escória em sua superfície durante o vazamento.

A noção de que a resistência mecânica à frio e à quente de massas de tamponamento devem ser elevadas, prevalece. Entretanto, durabilidade e resistência após sinterização nem sempre são diretamente correlacionadas. É considerado que durabilidade e resistência à erosão de massas de tamponamento são determinadas não somente pela sua resistência intrínseca após sinterização, mas pela resistência que apresentam sob condições operacionais após suas estruturas variarem pela passagem de gusa e absorção de escória.

4 - APLICAÇÃO

4.1 - Práticas de Fechamento e Abertura dos Furos - As mas sas de tamponamento dos furos devem ter uma trabalhabilidade a adequada à capacidade de injeção dos canhões, de forma a evitar o pré-aquecimento das mesmas. A quantidade total de massa inje tada depende das condições do furo. Considera-se que a massa deve cumprir três finalidades distintas: (a) vencer o contra-fluxo de gusa e escória do vazamento, devendo ultrapassar o comprimento do furo, ajudando a refazer o cogumelo no interior do Alto-Forno (Ver Fig.11), e servindo de base para o restante da massa injetada; (b) promover limpeza no interior do furo; (c) tamponar o furo, vedando-o completamente ao longo do seu comprimento.

Como medida de segurança, é prática rotineira manter o canhão por um tempo entre 4 a 10 minutos na face externa do fu ro de gusa logo após o seu fechamento, até que a massa adquira resistência de modo a evitar o seu arrombamento. Normalmente, procede-se a abertura total do furo com broca. Entretanto, é prática usual a introdução de uma barra na massa logo após a sua injeção, visando facilitar a posterior abertura do furo. O uso da barra favorece as condições de abertura, já que a espes sura de massa a ser vencida pela broca é menor. Há casos extre mos de dificuldade de abertura do furo, em que a utilização de oxigênio se faz necessária.

Normalmente deseja-se obter furos com aproximadamente 3m de comprimento para Altos-Fornos de capacidade em torno de 6000t de gusa por dia e pressões de topo de até 2 kg/cm². Este comprimento é dimensionado visando-se uma garantia de segurança operacional e de pessoal da área. Para equipamentos deste porte, deseja-se uma vazão de gusa da ordem de 3 a 5 toneladas por minuto, durante um tempo de vazamento de 70 a 90 minutos. O momento de fechamento do furo é determinado principalmente pe la vazão de gusa, a qual indica o grau de desgaste ao longo do furo devido à erosão e ataque químico de gusa e escória.

4.2 Anormalidades com Furos de Corrida de Altos-Fornos

4.2.1 - Trincas no Cogumelo - As trincas no cogumelo (Ver Fig.11) ocorrem principalmente devido às práticas utiliza-

das na abertura dos furos. Esta abertura é dificultada pela elevada resistência apresentada pelas massas de tamponamento após estarem sinterizadas. Nas aberturas de furo envolvendo apenas o uso da broca, há uma tendência maior de ocorrência de trincas devido ao elevado esforço e vibração durante a perfuração. A prática de utilização de barra logo após o fechamento do furo diminui a tendência de ocorrer trincas no cogumelo, já que a espessura de massa a ser vencida pela broca é bem menor. Em muitos casos, a simples retirada da barra durante o processo de abertura do furo, provoca um vazamento natural do gusa.

A prática dos operadores é fator fundamental para ajudar a minimizar a probabilidade de ocorrência de trincas, já que tanto com o uso de barra quanto com abertura total com broca, o mínimo de tentativas de penetração forçada tanto da barra quanto da broca, ajudará em muito o bom desempenho da massa de tamponamento.

As trincas no cogumelo permitem a penetração de escória e/ou gusa nas mesmas. Trincas no cogumelo em regiões acima do furo são caracterizadas pela saída de escória nos primeiros minutos de vazamento. Trincas no cogumelo em regiões abaixo do furo são caracterizadas pela dificuldade de abertura, inclusive com o uso de oxigênio, devido à penetração e solidificação de gusa na trinca. Uma outra indicação de trinca com infiltração de gusa e/ou escória, é o rompimento da barra ao longo do seu comprimento durante a abertura do furo.

4.2.2 - Arrombamento de Furos - Os arrombamentos de furos podem ser causados pela diminuição no comprimento dos furos provocada pelo desgaste dos refratários no interior do Alto-Forno, pela inadequação da massa às características operacionais do Alto-Forno (pressão de topo, volume de gusa vazado, temperatura do gusa, etc.), e pela falta de sinterização da massa (furo úmido).

A ocorrência de furo úmido acontece devido à uma incompleta sinterização da massa, ocasionada por problemas intrínsecos em sua qualidade ou por uma abertura no furo mais rápida devido à necessidade operacional do Alto-Forno. Furos úmidos devem ser evitados pois podem causar sérios danos operacionais ao Alto-Forno e até mesmo acidentes de equipamento e/ou pessoal

na ala de corrida.

Quanto mais elevadas as pressões de topo do Alto-Forno bem quanto maior a sua capacidade, maior deverá ser a taxa de sinterização da massa, visando dar uma maior segurança operacional ao equipamento.

4.2.3 - Solapamento da Parede e Furo Curto - O solapamento da parede (Ver Fig.12) ocorre quando há desgaste do refratário da soleira e/ou parede do cadinho do Alto-Forno, provocando dificuldade na recomposição do cogumelo, que tenderia a ficar em balanço e ser mais facilmente desgastado, provocando o chamado furo curto.

Deve-se na prática acompanhar o comprimento dos furos, pois em função de qualquer redução acentuada dos mesmos pode-se suspeitar de um solapamento da parede. Neste caso, deve-se injetar massas em quantidades maiores que as normalmente usadas, inclusive por vários fechamentos seguidos, tentando-se recompor o cogumelo de massa no interior do Alto-Forno.

Já se conhecem práticas de injeções consecutivas de massa durante as manutenções preventivas do Alto-Forno. Tem-se observado que este procedimento favorece a recuperação do cogumelo, o que facilitaria em operação à volta do furo aos comprimentos normais. Há casos em que, durante estas paradas, são feitos fechamentos com até cerca de 10 vezes maior quantidade de massa do que nos fechamentos rotineiros.

CONCLUSÕES

As massas de tamponamento de furo de corrida desempenham um importante papel na estabilidade operacional, produtividade e segurança na área de trabalho de Altos-Fornos. Estes produtos devem apresentar boas características de trabalhabilidade, sinteribilidade e durabilidade compatíveis com as condições operacionais do equipamento. Devem apresentar ainda elevada constância de qualidade e técnicas de aplicação adequadas de forma a evitar anormalidades em uso tais como trincas no cogumelo, arrombamento de furos, solapamento da parede e furos curtos.

AGRADECIMENTOS

À MAGNESITA S.A. pela permissão para publicação deste trabalho, e também à Geóloga Sebastiana Luiza Bragança Lana e Eng^a Metalúrgica Ângela Rodrigues Faria do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento pelos estudos ceramográficos realizados.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Júnior, L.P.A., Pittella, T.R.H., Guimarães, V.A., "Massas Refratárias para Área de Corrida de Altos-Fornos e seu uso no Alto-Forno 3 da USIMINAS", Simpósio COMIN - ABM, Vitória, Dezembro 1975.
- 2- Kostov, V.A. e Solodkov, V.I., "Quality of the Refractory Compound for the Iron Notch of Blast Furnaces", Refractories, March, 1978, p.467-469, Translated from Ogneupory, August, 1977, p.27-29.
- 3- Halm, M.L. "Les réfractaires de coulée de la fonte: Masses de bouchage, pisés de rigoles de hauts fourneaux" C.I.T. n^o 3, 1978, p.549-586.
- 4- Carvalho, E.A.R., "Materiais Refratários para Área de Corrida de Altos-Fornos", VI Congresso da ALAFAR, Salvador, 1976, p.183-190.
- 5- Hoshiido, Y. et all., "Taphole Mixes and Trough Lining Materials for Blast Furnaces", Nippon Steel Technical Report Overseas, N^o 7, November 1975, p.76-85.

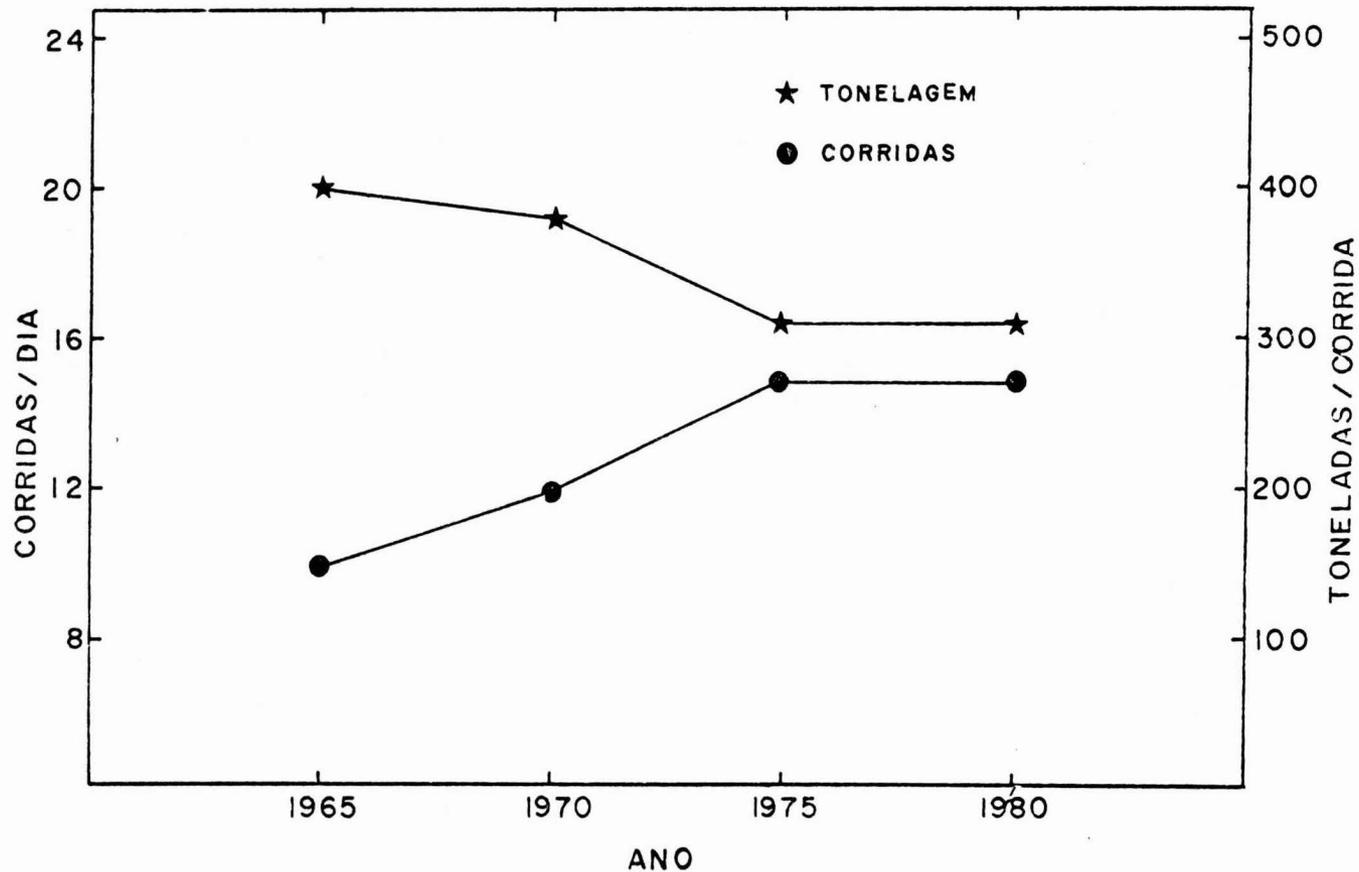


Fig.1 - Evolução típica da capacidade produtiva de um Alto-Forno de 2000 m³.

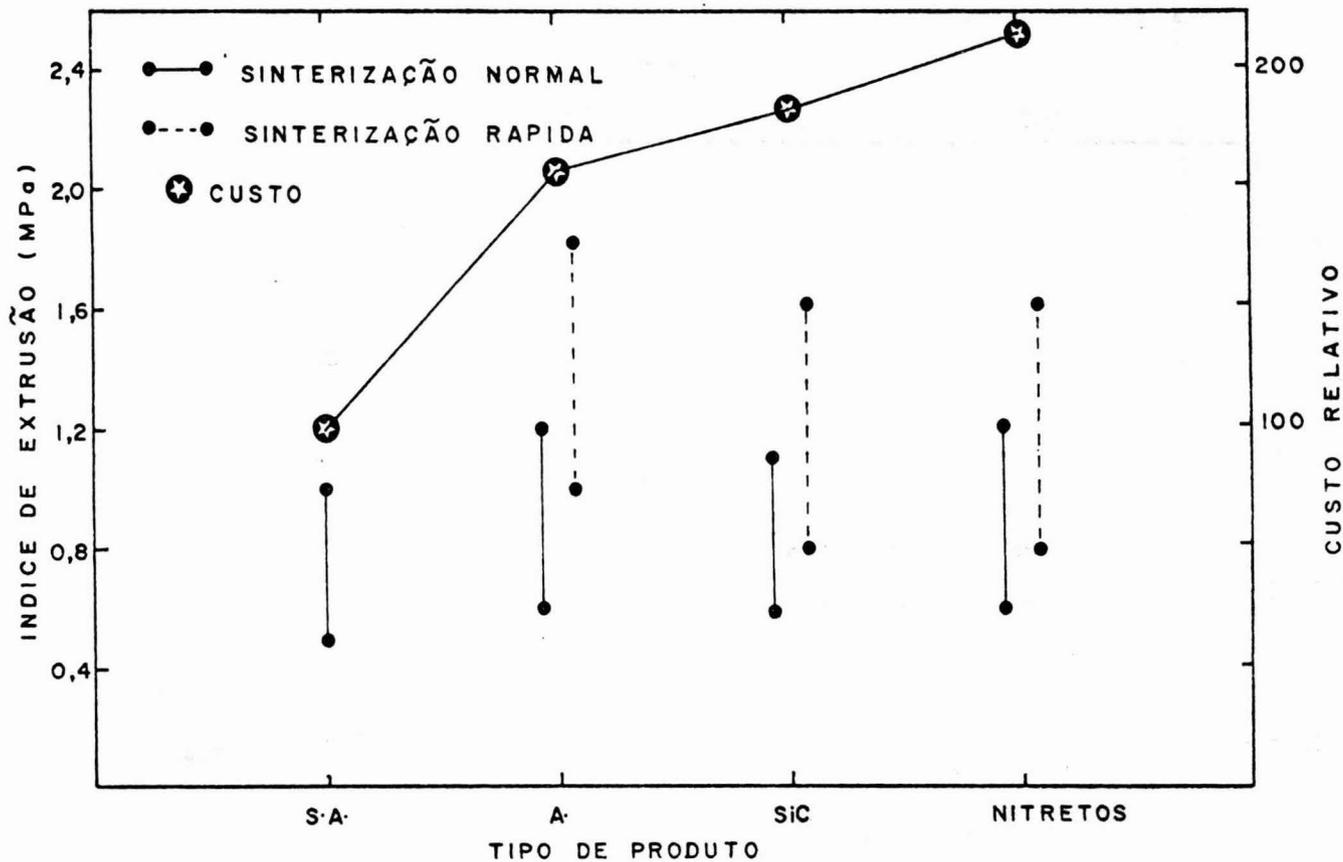


Fig.2 - Trabalhabilidade típica e custo relativo de massas contendo diferentes agregados refratários.

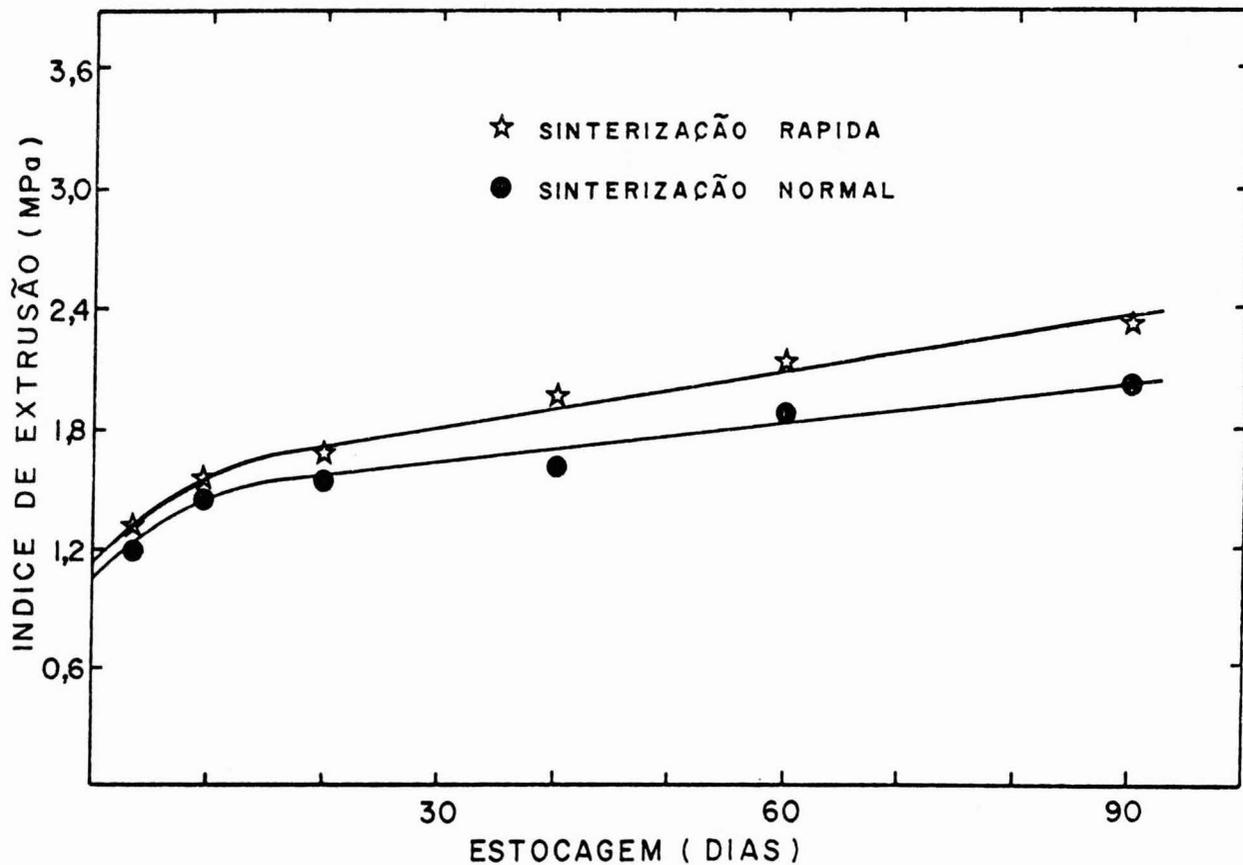


Fig.3 - Variação da trabalhabilidade com o tempo de Estocagem.

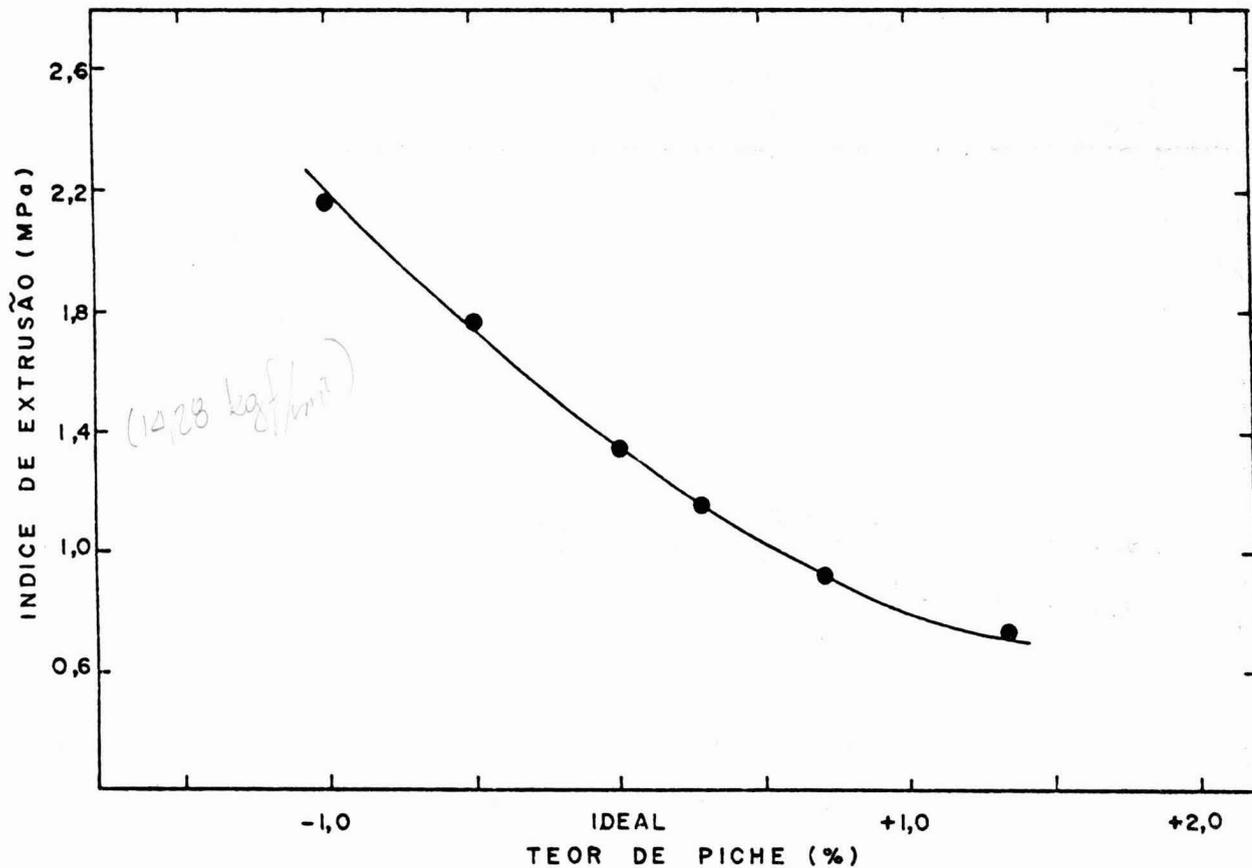


Fig.4 - Efeito do teor de piche na trabalhabilidade de massas de tamponamento.

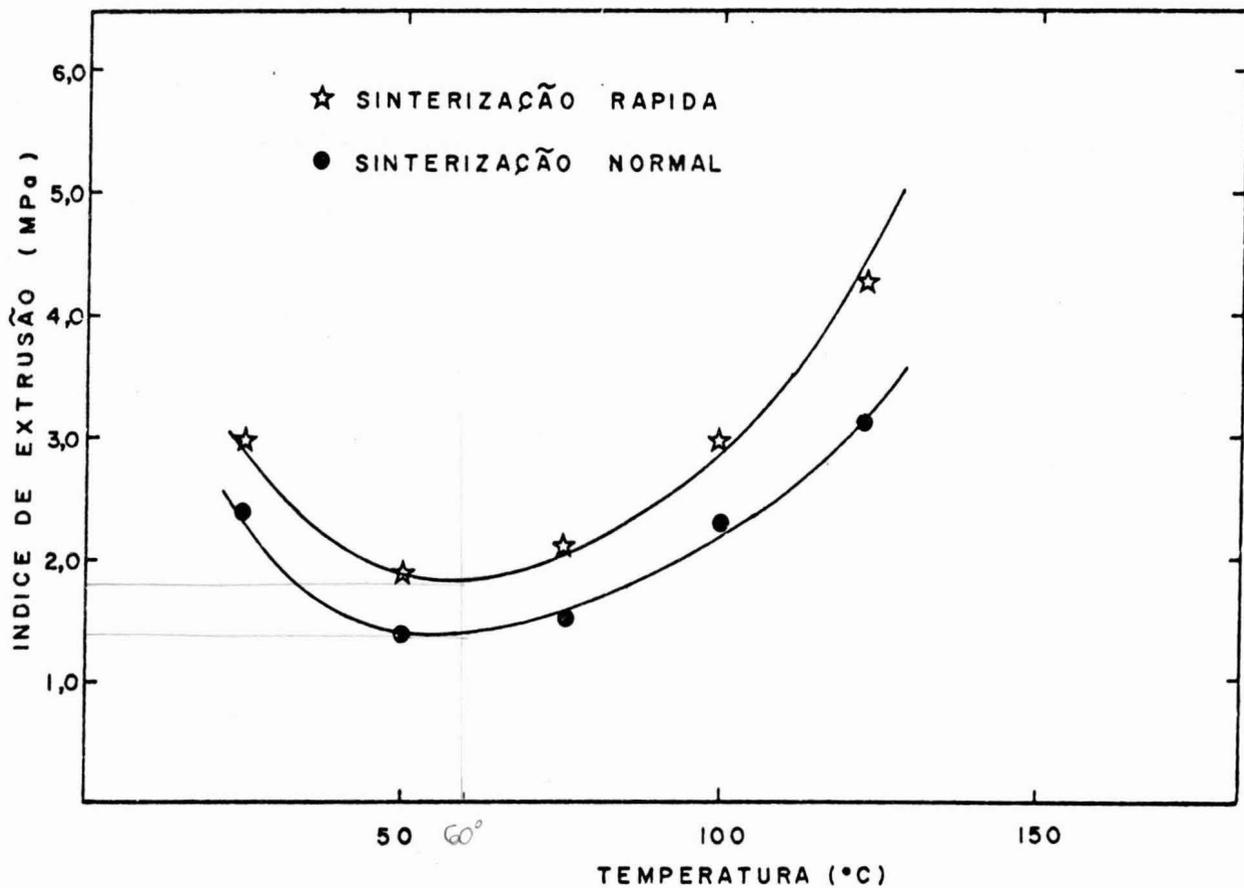


Fig.5 - Efeito da temperatura na trabalhabilidade de massas de tamponamento.

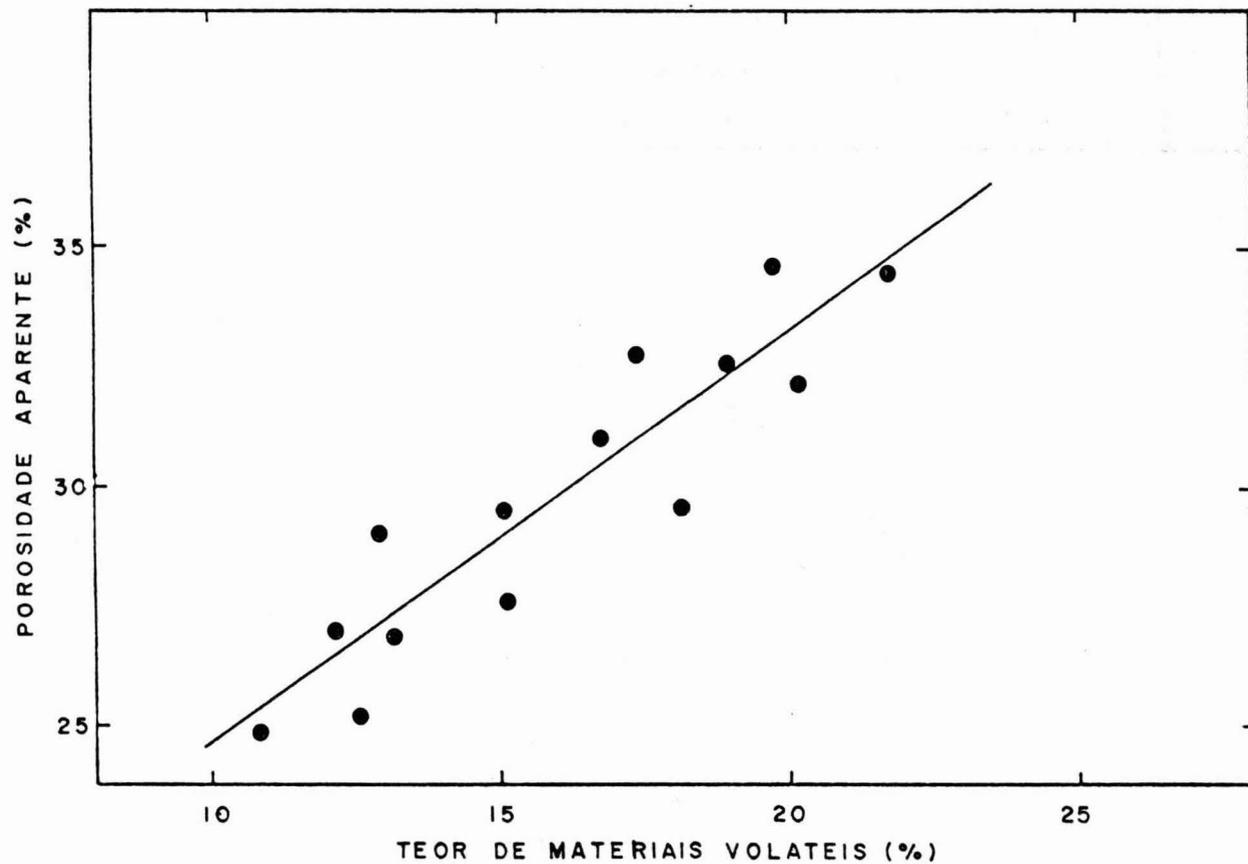


Fig.6 - Porosidade Aparente após tratamento térmico à 1200°C, versus teor de materiais voláteis (Após Hoshiido et all.)

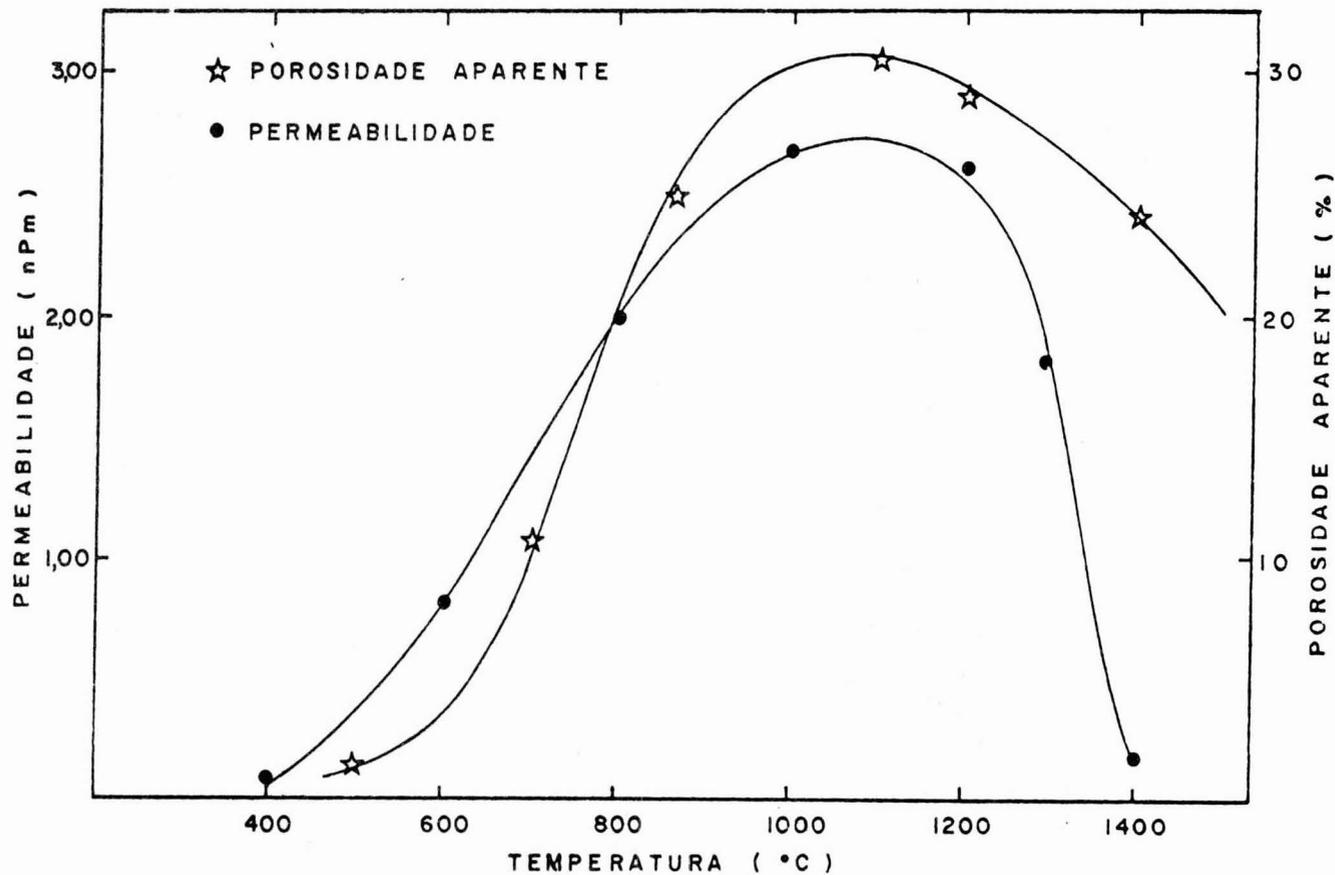


Fig.7 - Efeito da temperatura sobre a Porosidade Aparente e Permeabilidade de Massas de tamponamento.

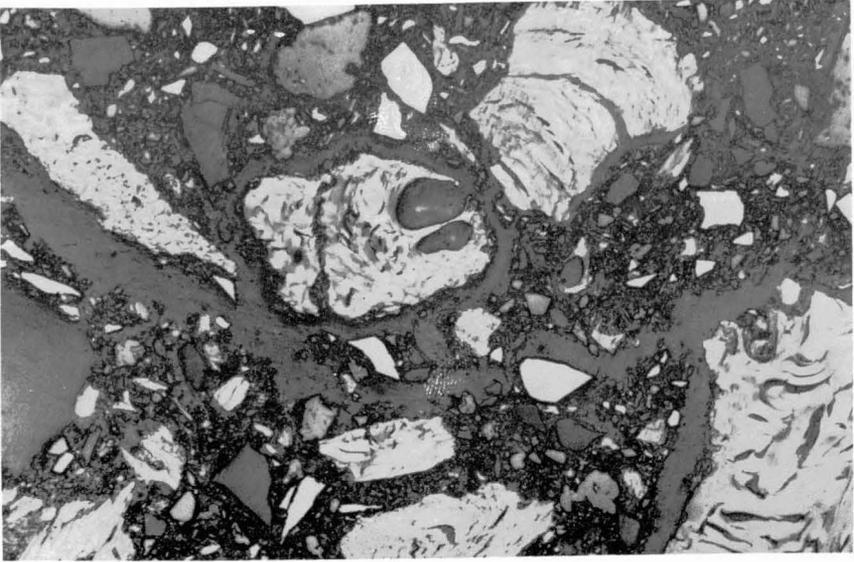


Fig.8 - Microestrutura típica de uma massa de tamponamento de furo de corrida após tratamento térmico à 1200°C, mostrando alta conectividade entre os poros (aumento 240x)

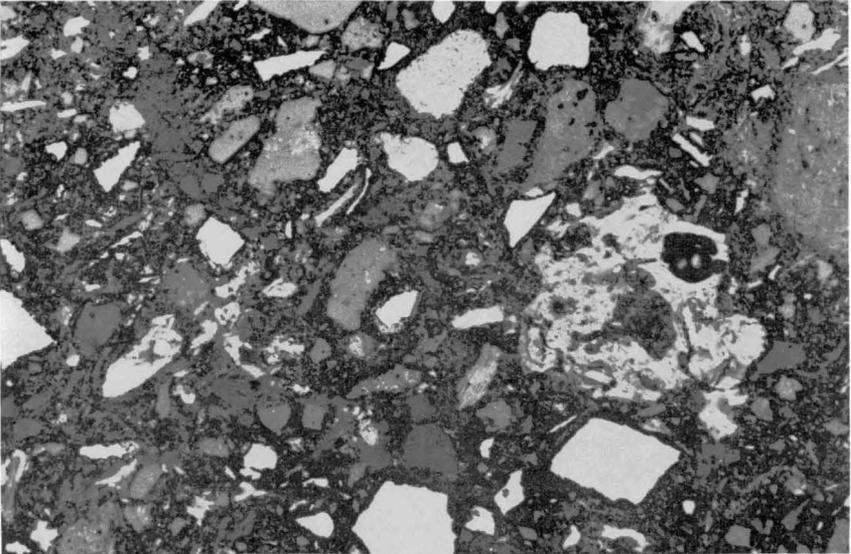


Fig.9 - Microestrutura típica de uma massa de tamponamento de furo de corrida após tratamento térmico à 1450°C, mostrando baixa conectividade entre os poros (aumento 240x).

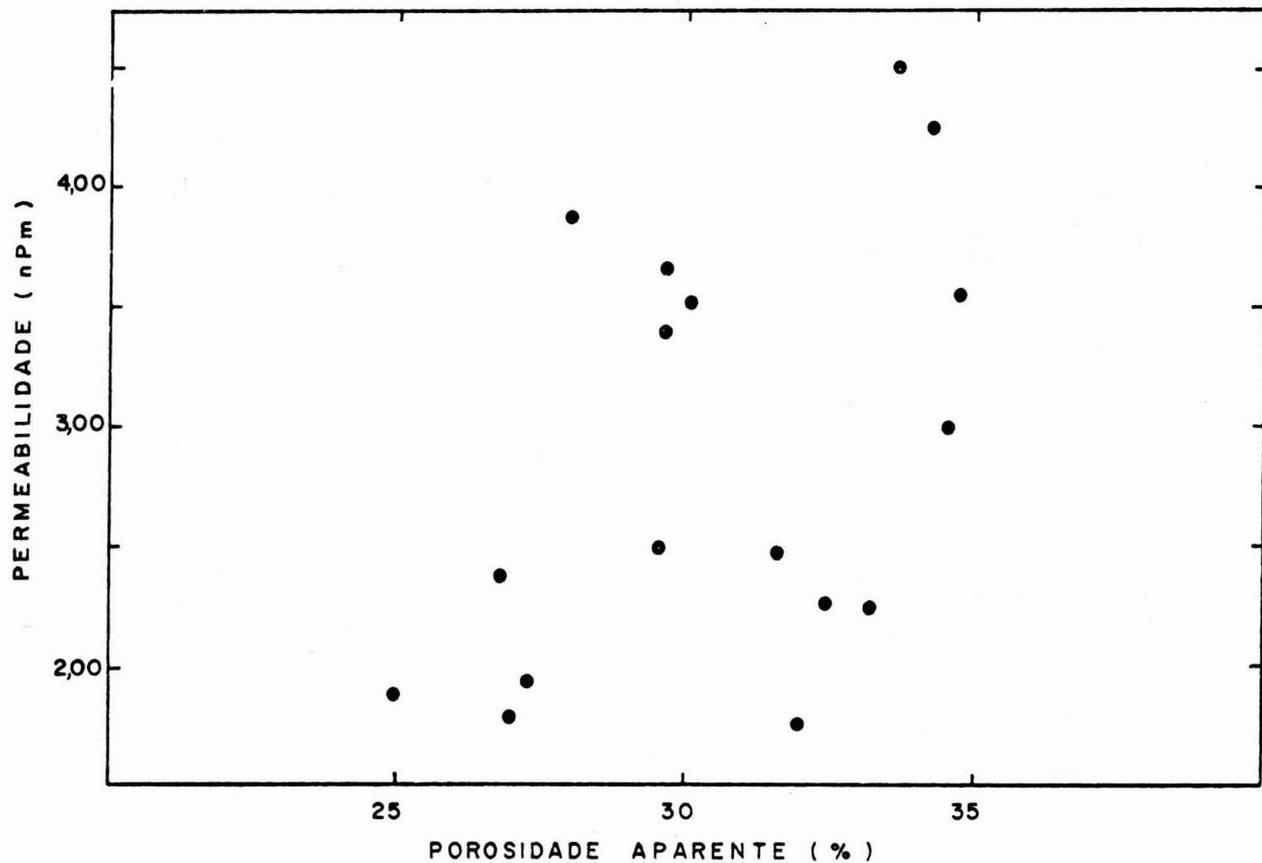


Fig.10 - Correlação entre Permeabilidade e Porosidade Aparente de massas de tamponamento após tratamento térmico a 1200°C (Após Hoshiido et all.)

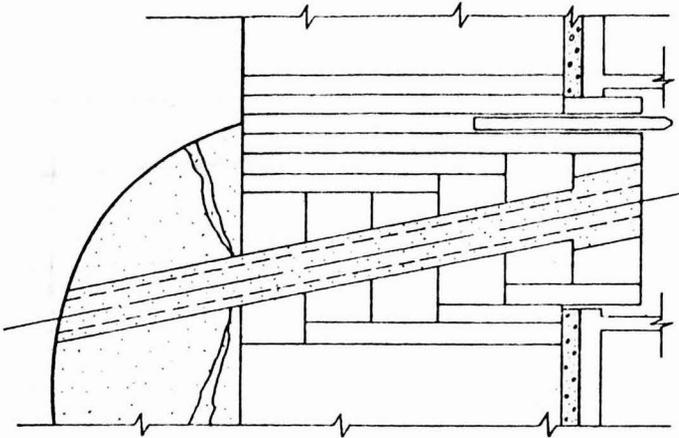


Fig. 11 - Croqui representativo do furo de corrida do Alto-Forno destacando a ocorrência de trinças no cogumelo.

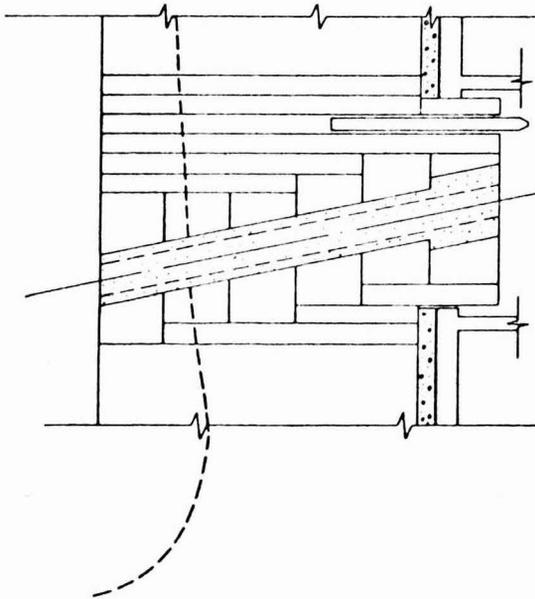


Fig. 12 - Croqui representativo do furo de corrida do Alto-Forno destacando o solapamento da parede refratária do cadinho.