

**PRO-CERÂMICA**

Programa de Desenvolvimento da Indústria de Cerâmica  
Vermelha no Estado do Paraná

**A PREPARAÇÃO DE ARGILAS PARA A  
PRODUÇÃO DE TELHAS E BLOCOS CERÂMICOS**

CURITIBA  
2007

**Revisão**  
Clarissa Nunes

**Catálogo**  
Bibliotecária Marlene Mengarda Martelli

**Catálogo na fonte**

---

MINERAIS DO PARANÁ

A preparação de argilas para a produção de telhas e blocos cerâmicos.

Curitiba : MINEROPAR, 2007.

p. 36

1. Argilas. 2. Telhas. 3. Blocos Cerâmicos. I. Emiliano, J. V.

Loyola, L. C. de. III. Título.

CDU 666.32

---

**Direitos reservados à MINEROPAR**

Rua Máximo João Kopp, 274 – bloco 3

Bairro Santa Cândida

CEP 82630-900 Curitiba-Paraná

Telefone: (41) 3351-6900

<http://www.pr.gov.br/mineropar>

e.mail: [minerais@pr.gov.br](mailto:minerais@pr.gov.br)

**Roberto Requião**  
Governador

**Orlando Pessuti**  
Vice-Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO  
E ASSUNTOS DO MERCOSUL**

**Virgílio Moreira Filho**  
Secretário

**MINERAIS DO PARANÁ – MINEROPAR**

**Eduardo Salamuni**  
Diretor Presidente

**Rogério da Silva Felipe**  
Diretor Técnico

**Manoel Collares Chaves Neto**  
Diretor Administrativo Financeiro

## **PRO-CERÂMICA**

Programa de Desenvolvimento da Indústria de  
Cerâmica Vermelha no Estado do Paraná

## **A PREPARAÇÃO DE ARGILAS PARA A PRODUÇÃO DE TELHAS E BLOCOS CERÂMICOS**

Gerente

Geólogo **Luciano Cordeiro de Loyola**

Consultor

Dr. **J. V. Emiliano**

QUALITECH – Qualidade e Tecnologia Ltda.

## **SUMÁRIO**

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>A TECNOLOGIA</b> .....	<b>6</b>
PREPARAÇÃO POR VIA SEMI-ÚMIDA.....	7
A IMPORTÂNCIA DA HOMOGENEIDADE DA MASSA OU ARGILA.....	10
O SAZONAMENTO DAS ARGILAS .....	11
COMINUIÇÃO.....	13
UMIDIFICAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO.....	14
LAMINAÇÃO .....	14
PREPARAÇÃO POR VIA SECA.....	15
TRITURAÇÃO .....	17
MOAGEM.....	18
UMIDIFICAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO DO PÓ APÓS PENEIRAMENTO ....	18
<b>AS ARGILAS DO OESTE PARANAENSE</b> .....	<b>19</b>
REFLEXÕES SOBRE AS FÁBRICAS DO OESTE PARANAENSE.....	26

## INTRODUÇÃO

A preparação de argilas, a etapa do processamento da matéria-prima que se realiza com o propósito de homogeneizar a composição da massa, corrigir sua granulometria e remover ou destruir materiais indesejáveis é, sem sombra de dúvida, a que mais influencia a qualidade do produto cerâmico.

As etapas posteriores, apesar da influência que possam ter nas propriedades do produto acabado, não são capazes de sobrepujar os resultados do processo de preparação, notadamente a granulometria e o grau de homogeneidade.

A trabalhabilidade, fundamental para a conformação adequada dos produtos, está diretamente relacionada com a plasticidade da argila e esta, por sua vez, é extremamente sensível a certas etapas da preparação, como sazonalidade de estoques de argilas, redução granulométrica e homogeneização da composição.

Na Europa, onde também se encontram os construtores de equipamentos que ditam as tendências tecnológicas dessa área, o grau de desenvolvimento do setor cerâmico de um determinado país é avaliado de acordo com o status tecnológico da preparação encontrada nas fábricas.

Quanto mais avançada a tecnologia de preparação, mais evoluído é o setor cerâmico daquele país. Infelizmente a recíproca é verdadeira, ou seja, quanto mais obsoleta a tecnologia de preparação, mais atrasada a indústria cerâmica do país. Não é preciso um esforço intelectual muito grande para avaliar em qual categoria o setor da cerâmica vermelha do Brasil se enquadra.

É muito comum encontrarmos fábricas cujos equipamentos de preparação não passam por manutenção e não substituem seus componentes desgastados no tempo adequado, e desta forma são penalizadas com elevadas perdas de secagem e queima, além de apresentarem um produto acabado de aspecto sofrível e com grande variação nas suas propriedades.

Preparar adequadamente as argilas, portanto, é fundamental para a fabricação de produtos cerâmicos com propriedades adequadas e aspecto aparente apreciável.

Assim sendo, o manual ora apresentado tem por objetivo mostrar aos interessados o porquê da importância de se conhecer as matérias-primas que serão utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos, e a conseqüente importância de entender os processos resultantes de beneficiamento e fabricação.

## **A TECNOLOGIA**

É possível subdividir o processo de preparação em duas fases:

**Tratamento prévio das matérias-primas:** ações e procedimentos externos, que antecedem o processamento no interior da fábrica.

**Tratamento pela ação dos equipamentos de fábrica:** toda a seqüência posterior de processamento, como laminação grosseira, correção de umidade, estocagem intermediária, laminação fina, etc.

A natureza das argilas disponíveis para consumo é o fator que determina qual o tipo de equipamento e tecnologia mais adequados para uma determinada fábrica. As argilas secundárias, como as de várzea, e as que se desagregam com facilidade ao serem expostas ao meio ambiente, geralmente são submetidas à modalidade de preparação conhecida como preparação por via semi-úmida. Esse é o tipo de preparação mais comum nas fábricas de telhas e blocos cerâmicos do país.

No entanto, quando as argilas disponíveis são muito duras, os equipamentos convencionais da preparação por via semi-úmida não conseguem desagregá-las e destruir completamente os torrões, o que pode dificultar as etapas de processamento posteriores e comprometer as propriedades do produto final.

Além disso, a argila pode estar contaminada com calcita, gesso ou outros materiais que afetam negativamente o produto final se não tiverem a sua granulometria reduzida abaixo de determinados valores. Nesse caso, a preparação por via seca pode viabilizar o seu aproveitamento.

## PREPARAÇÃO POR VIA SEMI-ÚMIDA

A seqüência típica de processamento dessa modalidade de preparação é representada na figura 1.

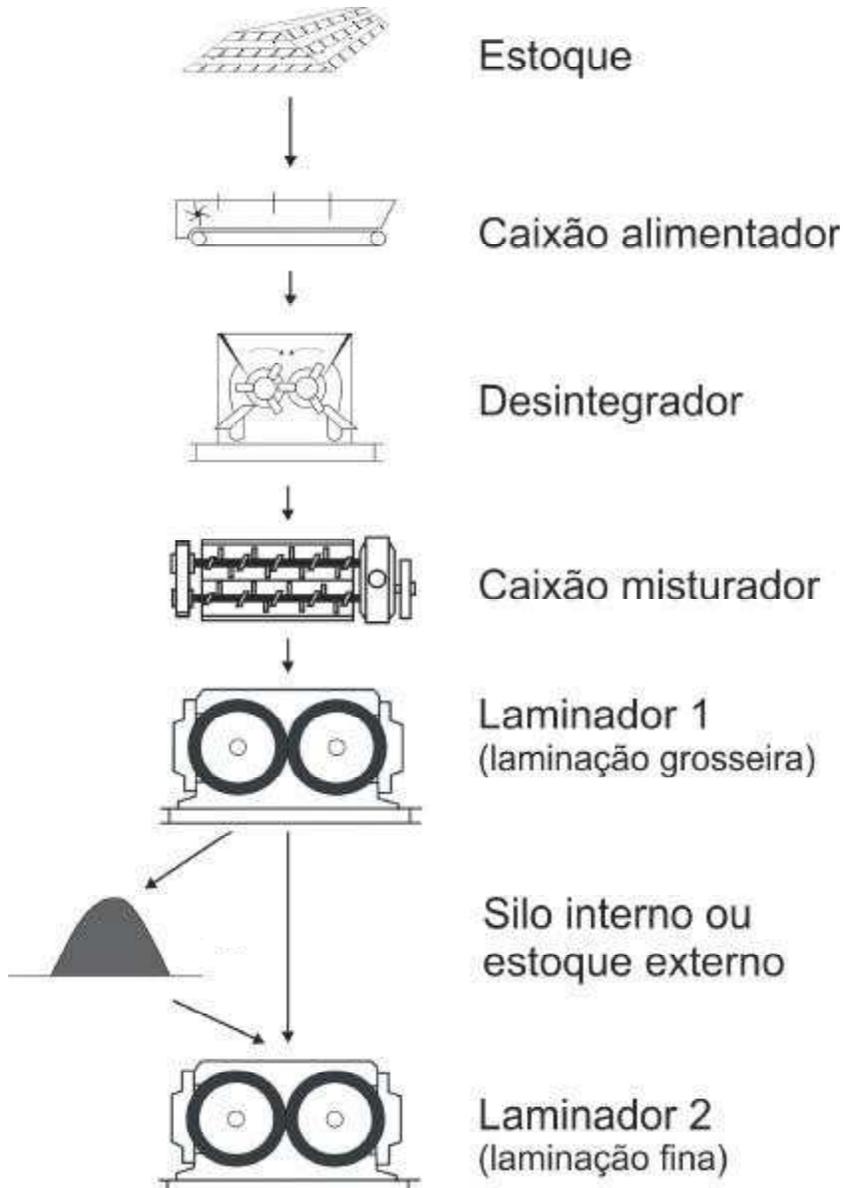


Figura 1 – Preparação por via semi-úmida.

Os bons resultados nesse tipo de preparação dependem, sobretudo, da formação de estoques de argila e do seu sazonalamento. A figura 2 representa um estoque de massa composta por diversas argilas, construído de forma a facilitar o sazonalamento e a remoção posterior do material.

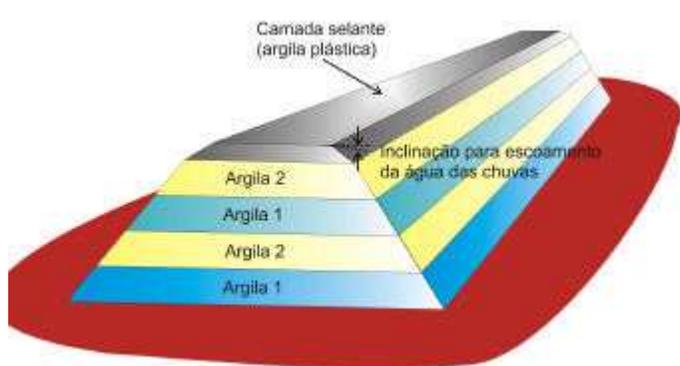


Figura 2 – Estoque de argila em camadas.

As argilas devem ser depositadas em camadas horizontais, de espessura inferior a 1 metro, e cada camada deve ter o maior grau de homogeneidade possível em relação à jazida da qual foi extraída.

Em jazidas que apresentam várias camadas de argilas distintas, como as apresentadas na figura 3, é importante extraí-las individualmente, evitando a mistura de materiais de camadas diferentes.



Figura 3 – Jazidas com argilas dispostas em camadas.

A figura 4 sugere como deve ser a exploração de uma jazida com múltiplas camadas de argilas.

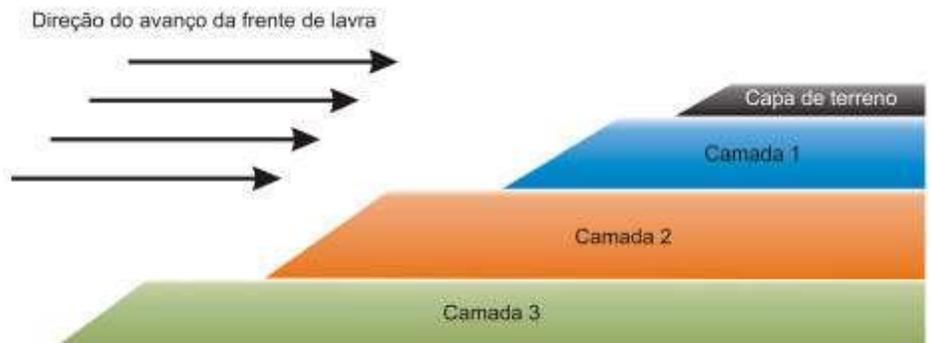


Figura 4 – Exploração em camadas.

O local no qual serão formados os estoques deve estar livre de contaminantes que possam ser incorporados à massa durante o desmonte do estoque. Caso se verifique a presença de materiais indesejáveis no solo onde se formarão os estoques, recomenda-se a deposição e compactação de camada de uma das argilas utilizada na composição da massa, com ao menos 50 cm de espessura.

Outro aspecto a considerar é o acúmulo de água das chuvas, uma vez que a movimentação de equipamentos de carga na área acarretará a formação de um lamaçal. Por esse motivo, o terreno de armazenagem deve apresentar uma inclinação favorável ao escoamento de águas pluviais.

Por fim, após a deposição da última camada de argila no monte, é recomendável recobri-lo com uma camada de argila plástica, posteriormente compactada, para evitar que a água das chuvas penetre e seja absorvida pela argila estocada. Desnecessário dizer que esses cuidados são válidos apenas para estoques construídos ao relento.

Os objetivos da construção de estoques de argila em camadas e do sazonalamento são os seguintes:

1. Homogeneizar a composição da argila de modo a minimizar as possíveis variações na jazida, garantir o abastecimento da fábrica com material de plasticidade e umidade pouco variáveis.
2. Aproveitar o efeito das chuvas e do sol para desagregar os grandes torrões e “apodrecer” a argila.
3. Fornecer um estoque regulador de argila na porta da fábrica, de importância diretamente proporcional ao seu volume de produção.

## **A IMPORTÂNCIA DA HOMOGENEIDADE DA MASSA OU ARGILA**

A variação da composição da massa ou da argila leva à variação do seu comportamento durante a secagem e a queima, o que aumenta as perdas de processamento e a qualidade final dos produtos. Portanto, a homogeneização da composição deve ser uma meta permanente, desde a extração em jazida até a operação de desmonte dos estoques. É importante destacar que as variações de composição das matérias-primas não podem ser compensadas pelos equipamentos de fábrica, independentemente da sua atualidade tecnológica.

Como problemas relacionados com a falta de homogeneidade das matérias-primas podemos citar a variação de coloração trincas de secagem e queima causadas por retrações diferenciais.

Nas jazidas onde não se consegue a olho nu diferenciar facilmente as camadas, recomenda-se ensaio em laboratório para avaliar a heterogeneidade das argilas: extrusão de corpos de prova e avaliação de retrações de secagem e queima, resistência mecânica após secagem e queima, e a cor após queima, entre outros.

O grau de homogeneidade do estoque depende do número de camadas: quanto maior o número de camadas, mais a homogeneidade da composição. Por outro lado, as variações de jazida podem ser minimizadas se aumentarmos o número de camadas de argila no estoque.

## O SAZONAMENTO DAS ARGILAS

O sazonalamento ou envelhecimento de argilas é uma técnica cuja prática remonta a vários séculos antes de Cristo. Consiste basicamente na estocagem e exposição da argila extraída da jazida ao meio ambiente por período de tempo que pode variar de poucos meses a vários anos. Esse tipo de tratamento aumenta a plasticidade, reduz ou elimina o conteúdo de material orgânico das matérias-primas e minimiza a formação de trincas durante a secagem.

O mecanismo de envelhecimento que realmente atua sobre as matérias-primas depende da localização geográfica. Na Europa, onde há estações bem definidas, a água contida nos poros e interstícios dos torrões das argilas pode congelar durante o inverno e evaporar durante o verão. O congelamento é acompanhado por expansão, que por sua vez acarreta a desagregação ou destruição dos torrões. Durante o verão a argila seca e retrai, com conseqüente gretamento e desagregação dos torrões. Como é fácil perceber, o mecanismo de sazonalamento que prevalece no Brasil é o de verão.

Com o desenvolvimento tecnológico da área e o surgimento de novos equipamentos de preparação e da secagem artificial, imaginou-se que as argilas supostamente poderiam ser enviadas da jazida diretamente para a preparação das fábricas e a prática do sazonalamento poderia ser abandonada. As perdas de processo nas fábricas que abandonaram o sazonalamento, no entanto, demonstraram que os processos de desagregação e umedecimento das argilas são fenômenos mais complexos do que inicialmente imaginado e para os quais não existem alternativas tecnológicas artificiais.

Podemos utilizar técnicas de eletroforese para demonstrar que as diminutas partículas dos argilominerais que constituem as argilas têm carga elétrica superficial negativa. Como a molécula da água é polar (figura 5), as suas moléculas são atraídas para a superfície das partículas dos argilominerais, de modo que esta acaba totalmente envolta por uma película de H<sub>2</sub>O.

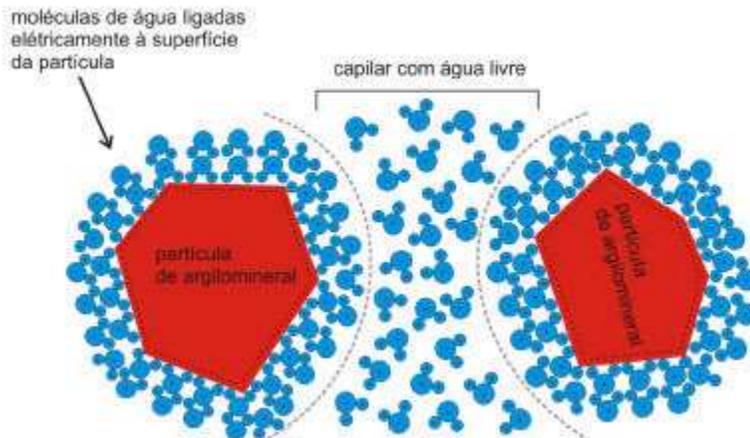


Figura 5 – Partícula de argila envolta por água.

Massas e argilas adequadamente dispersas devem estar livres de torrões, com as partículas dos argilominerais separadas umas das outras por uma camada de água. Durante a extrusão, a água atuará como uma camada lubrificante, e o escoamento da argila demandará bem menos energia que na presença de aglomerados.

As argilas com elevado conteúdo de material orgânico, como as de várzea (figura 6-a), devem ser submetidas a períodos de sazonalidade suficientemente longos para eliminar o excesso de água e oxidar parte da matéria orgânica. Matérias-primas primárias, geologicamente formadas em camadas, como os folhelhos argilosos (figura 6-b), apresentam alinhamento preferencial que impede a hidratação homogênea das partículas. Dessa forma, sem o sazonalidade a extrusão dessas argilas será problemática e a ação das tensões residuais de secagem resultará em um índice de perdas mais elevado.

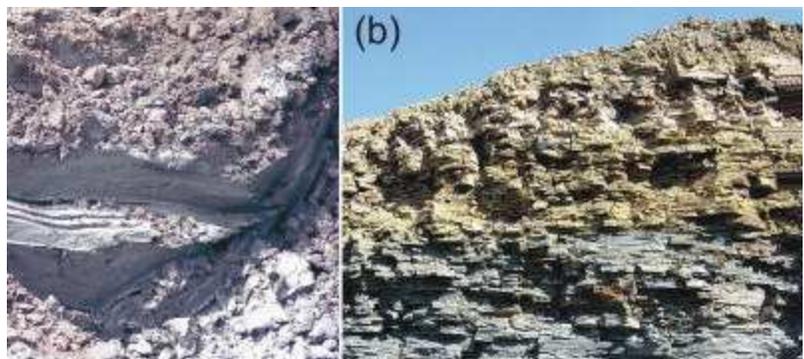


Figura 6 – (a) - Argila sedimentar. (b) - Folhelho argiloso.

A preparação por via semi-úmida compreende o pré-processamento de argilas com umidade que pode variar de 18 a 25% e resulta em massas com granulometria mais grosseira que a obtida por via seca e, portanto, em produtos mais porosos.

## COMINUIÇÃO

É possível classificá-la em cominuição grossa, média e fina, sem que haja um limite claro para cada tipo. Essa classificação, entretanto, demonstra que a operação pode ser realizada em várias etapas, se houver uma grande disparidade entre as dimensões da matéria-prima bruta e a massa preparada.

Os equipamentos mais utilizados para executar a cominuição são os desintegradores (figura 7).

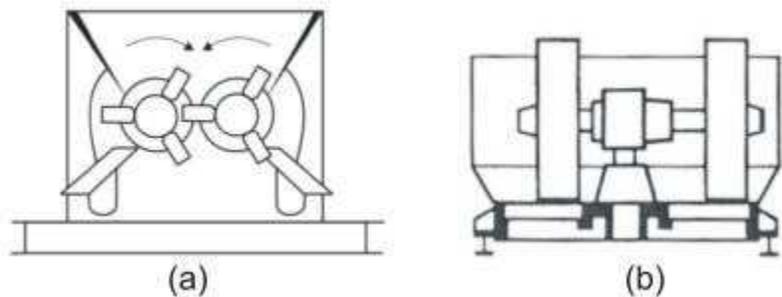


Figura 7 – Exemplo de equipamentos de cominuição:  
(a)- Desintegrador de rolos. (b)- Galga.

## UMIDIFICAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO

O equipamento mais utilizado na indústria da cerâmica vermelha para homogeneizar a mistura argila-água adicionada é o caixão misturador (figura 8).

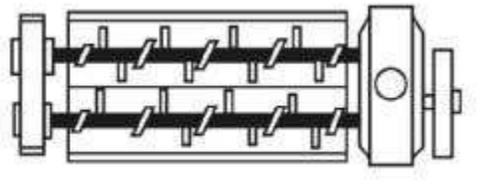


Figura 8 – Caixão misturador.

A ação do equipamento permite o amassamento da argila juntamente com a água, o qual, se levado a cabo de modo adequado, resulta em uma distribuição equilibrada de umidade. O equipamento pode ser encontrado com algumas variações de acessórios, como é o caso do misturador-extrusor.

## LAMINAÇÃO

Na preparação por via semi-úmida, os laminadores (figura 9) são responsáveis pelo tamanho máximo dos grãos de argila e, portanto, o seu desempenho afeta diretamente a secagem, a resistência mecânica após secagem e queima e a aparência do produto acabado. Os cilindros do laminador devem trabalhar em sentido contrário e com velocidades distintas de rotação, o que permite reduzir o consumo energético e aumentar a ação de trituração.

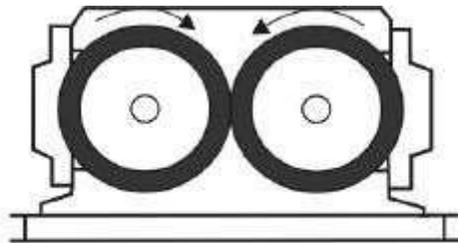


Figura 9 – Laminador.

Nos laminadores modernos, o afastamento entre os cilindros é mantido por um servo-motor com controle eletrônico. Esse tipo de equipamento é capaz de reduzir a granulometria da argila para valores abaixo de 1 mm. É importante frisar que a melhoria da qualidade das telhas e blocos cerâmicos nacionais fabricados por via semi-úmida depende, em grande medida, da instalação de laminadores com fechamento hidráulico.

Os laminadores podem ser agrupados segundo o afastamento entre os seus cilindros, de forma que os laminadores são classificados como grosseiros se o afastamento entre os cilindros variar entre 3 a 4 mm, ou de refino, se o afastamento entre os cilindros variar entre 1 e 2 mm. Em uma classe especial de laminadores, mais conhecidos como laminadores rápidos, o afastamento entre os cilindros varia entre 0,8 e 1 mm. Esse tipo de laminador, de alto rendimento, possui um motor para cada cilindro.

### **PREPARAÇÃO POR VIA SECA**

As argilas primárias que contêm torrões ou aglomerados que não podem ser facilmente desagregados pela ação do sazonalamento ou dos equipamentos da preparação da via semi-úmida, devem ser submetidas à preparação por via seca (figura 10). Esse tipo de preparação gera uma fração elevada de partículas de baixa granulometria, capaz de absorver e homogeneizar umidade com maior rapidez. Por essa razão, a massa moída e umidificada é mais homogênea e mais plástica que a mesma massa preparada por via semi-úmida. O resultado é um acabamento superficial e resistência mecânica também superior.

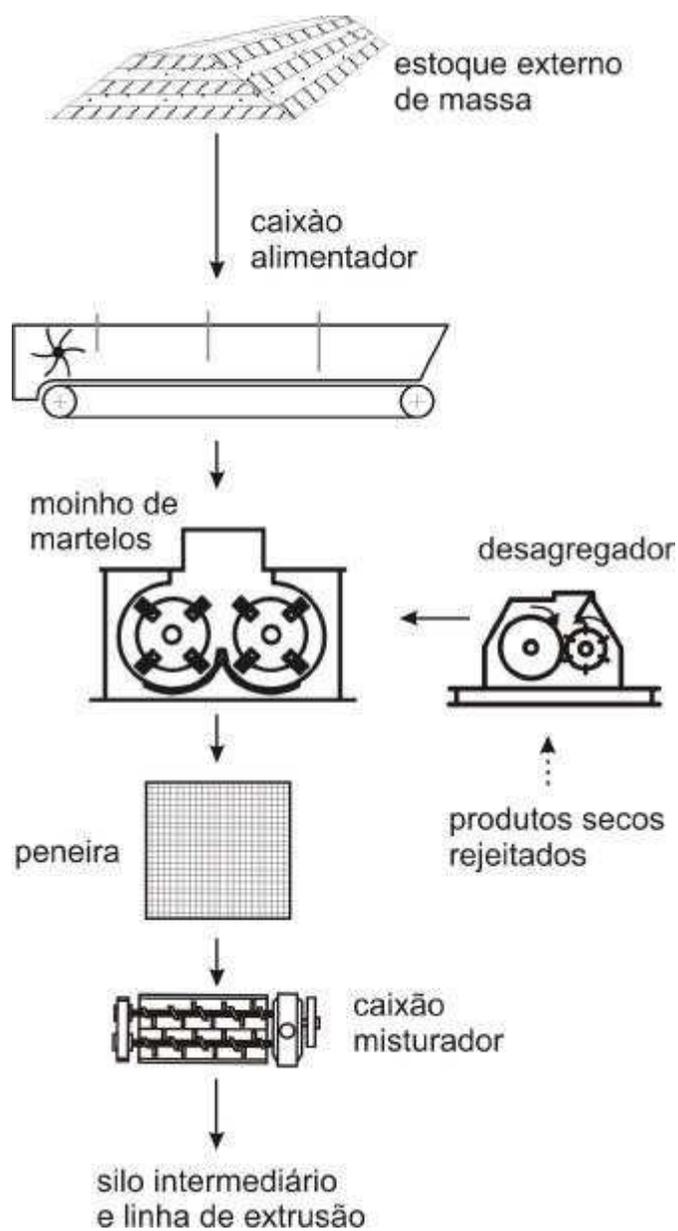


Figura 10 – Preparação por via seca.

Certos tipos de produtos, como revestimentos cerâmicos, têm requisitos de acabamento e desempenho que são atendidos apenas quando a granulometria da massa preparada é bem fina, o que obriga a adoção da via seca.

A preparação por via seca é a mais indicada para argilas contaminadas com calcita, gesso, piritas, materiais carbonosos, etc., que necessitam de uma redução acentuada do seu tamanho de grão. Em se tratando de calcita (carbonato de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ ), a moagem fina é o tratamento mais indicado e, portanto, o mais difundido. Por outro lado, as argilas contaminadas com pirita devem ser queimadas apenas após a redução do seu tamanho de grão, para evitar a liberação de gás ( $\text{SO}_2$ ) e destacamento de material no interior do produto durante a queima. Sob atmosfera redutora de queima, a oxidação da pirita pode ser incompleta e levar à formação de  $\text{FeO}$ . Esse tipo de óxido de ferro pode reagir com a sílica e formar silicatos fusíveis a baixas temperaturas, o que pode resultar em pequenos buracos e pintas escuras em todo o produto.

A maior barreira para a ampliação do uso da via seca na indústria da cerâmica estrutural está relacionada com a limitação da umidade da matéria-prima na entrada da moagem a valores abaixo de 12%. Para umidade entre 10 e 12%, a secagem prévia da matéria-prima é recomendável. Para valores de umidade superior a 12%, a secagem passa a ser necessária, uma vez que para cada aumento de 5% na umidade há uma redução de 20% no rendimento do moinho.

Além disso, se a peneira colocada na saída do moinho não for aquecida, a perda de rendimento pode ser superior a 50%. Esse índice inviabiliza economicamente qualquer planta de preparação por via seca.

## **TRITURAÇÃO**

A operação de desintegração ou trituração tem a finalidade de reduzir os torrões duros a dimensões que permitam a alimentação e operação do moinho da planta. Dentre os equipamentos utilizados para essa função, os mais comuns são os moinhos de mandíbula e o de gaiola (figura 10). A adequação de um ou outro equipamento depende do tamanho inicial dos blocos ou torrões da argila e do grau de desintegração desejado.

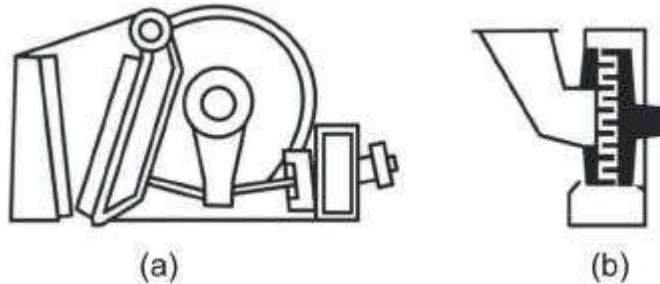


Figura 10 - Trituradores. (a) – De mandíbula. (b) – De gaiola.

## **MOAGEM**

O moinho de martelos (figura 10) é o equipamento de moagem predominante nas plantas de preparação por via seca. Os tipos de moinhos mais comuns são o de martelos fixos e o de martelos móveis ou oscilantes.

Os parâmetros fundamentais para o bom rendimento do moinho de martelos e para a obtenção de uma granulometria adequada são a umidade da matéria-prima e a rotação do motor: umidade elevada acelera o desgaste dos martelos e da grelha, o pó pode aglomerar-se e obstruir as aberturas da peneira; altas rotações resultam em pó mais fino. Estima-se que a umidade máxima admissível para uma moagem razoavelmente eficiente seja aproximadamente 10%.

## **UMIDIFICAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO DO PÓ APÓS PENEIRAMENTO**

Uma vez peneirada, é necessário adicionar água à argila em pó e homogeneizar a mistura, operação geralmente realizada com o auxílio de algum tipo de caixão misturador. O volume de água adicionado deve ser suficiente apenas para dar coesão e plastificar parcialmente a massa, evitando-se que a mesma torne-se pastosa e escoe sob o efeito do próprio peso. O grau de plasticidade necessário para a conformação do produto deverá ser ajustado na extrusão, com a adição da quantidade necessária de água no caixão misturador agregado ao equipamento.

É recomendável armazenar a massa umidificada em um silo fechado, ou na indisponibilidade deste, em uma área apropriadamente coberta e protegida da ação de correntes de ar. Deve-se evitar a secagem das camadas superficiais da massa estocada devido à elevada dureza dos grânulos gerados pela desidratação, o que dificulta ou mesmo inviabiliza a ação de equipamentos de refino eventualmente instalados na linha de extrusão, como laminadores.

A partir do caixão alimentador da linha de extrusão, todas as operações e equipamentos são os mesmos utilizados na preparação por via semi-úmida.

## **AS ARGILAS DO OESTE PARANAENSE**

Para avaliar as matérias-primas existentes nas lavras do Oeste do Paraná e coletar dados capazes de indicar a melhor maneira de aproveitá-las, a forma mais correta de beneficiá-las, bem como os equipamentos adequados para seu processamento, foram coletadas amostras das argilas consideradas as mais representativas da região.

Nos pacotes de argila de ocorrência mais freqüente na região, o topo contém um material conhecido pelos ceramistas como *areia*. De fato, o material pode ser classificado como tal, uma vez que a sua granulometria equivale à de uma areia fina, bem selecionada, constituída por sílica e outros minerais resistentes originados da decomposição das rochas subjacentes.

Abaixo da areia encontra-se a argila *gorda*, ou plástica, que permanece boa parte do ano encharcada por se encontrar abaixo do lençol freático. Trata-se de uma argila predominantemente caulínica, de granulometria muito fina. Quando a camada superior deste perfil de solo contém muita matéria orgânica, a argila apresenta uma coloração que varia de preta a cinza escuro.

Quando o percentual de matéria orgânica é menor, a coloração da argila apresenta-se variegada, com manchas e nódulos marrons, avermelhados e creme. O grau de umidade, a granulometria e a presença de matéria orgânica lhe conferem uma plasticidade apropriada para a moldagem de produtos cerâmicos. Os solos destes locais são chamados de “terra branca” pelos moradores locais.

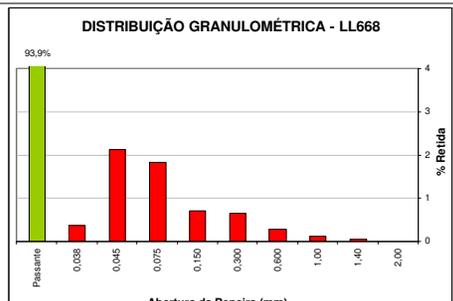
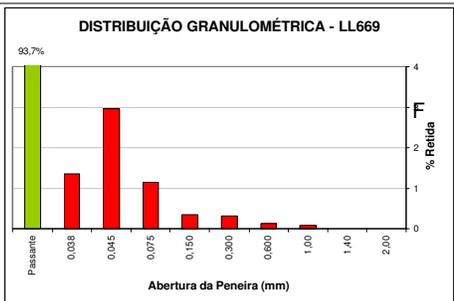
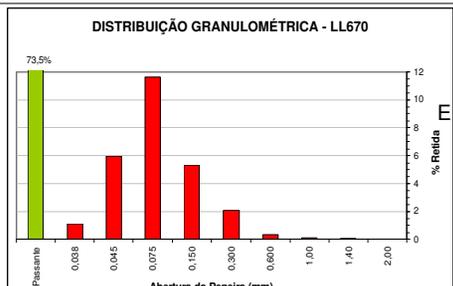
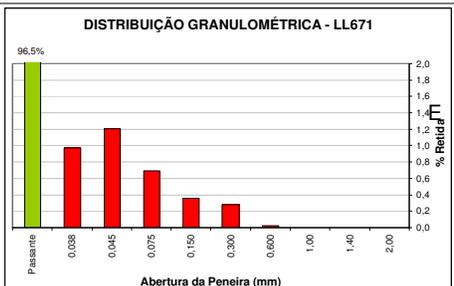
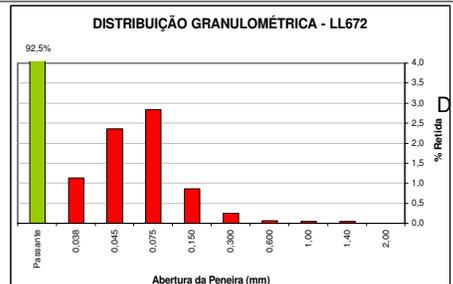
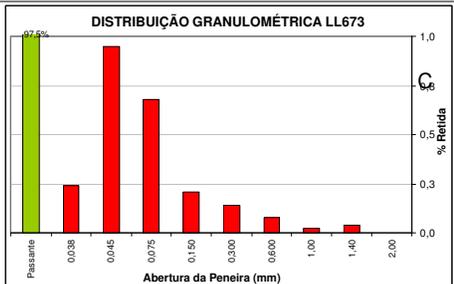
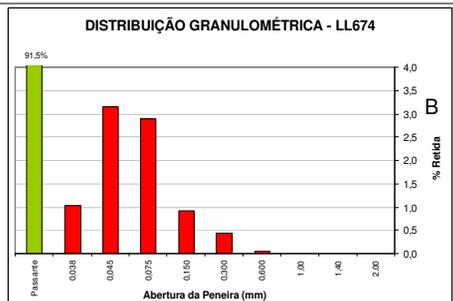
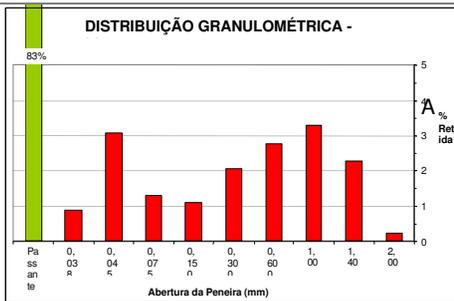
Logo abaixo, diretamente sobre a rocha matriz, encontra-se a *piçarra*, material inconsistente, muito úmido, com pedaços da rocha subjacente, de cor amarela, cinza ou avermelhada.

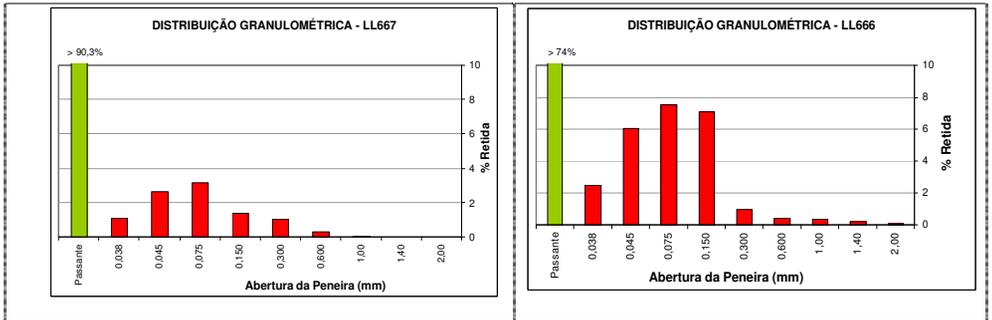
As olarias costumam fazer a mistura das argilas ditas gordas, ou plásticas, com argilas magras e areia. Isto facilita a secagem do produto extrudido e diminui as trincas de secagem e o empenamento das peças.

Foram coletadas as seguintes amostras:

- LL-669: material de granulação mais grosseira, conhecido como “areia” pelos ceramistas e utilizado para efetuar a mistura com as argilas plásticas a fim de melhorar as condições de secagem (coletada em Terra Roxa).
- LL-667, 668, 671 e 672: argilas plásticas, com matéria orgânica, de coloração escura, preta a cinza (coletadas em Nova Santa Rosa, Terra Roxa, Nova Santa Rosa e Santa Helena).
- LL 673: argila de coloração variegada, marrom, avermelhada e até creme. Menos plástica que as argilas escuras por ter menos matéria orgânica (coletada em São Miguel do Iguçu).
- LL 675: argila de coloração escura, plástica, com a presença em sua massa de pequenas concreções de óxido de ferro (lateritas), conhecido na região como “chumbinho” (coletada em Missal).
- LL 666, 670 e 674: argilas de coloração azul-esverdeada (*piçarra*), encontradas abaixo dos pacotes de argilas lavradas (coletadas em Nova Santa Rosa e São Miguel do Iguçu).

As distribuições granulométricas de cada uma delas, obtidas por peneiramento em via úmida, são apresentadas nas figuras apresentadas a seguir.



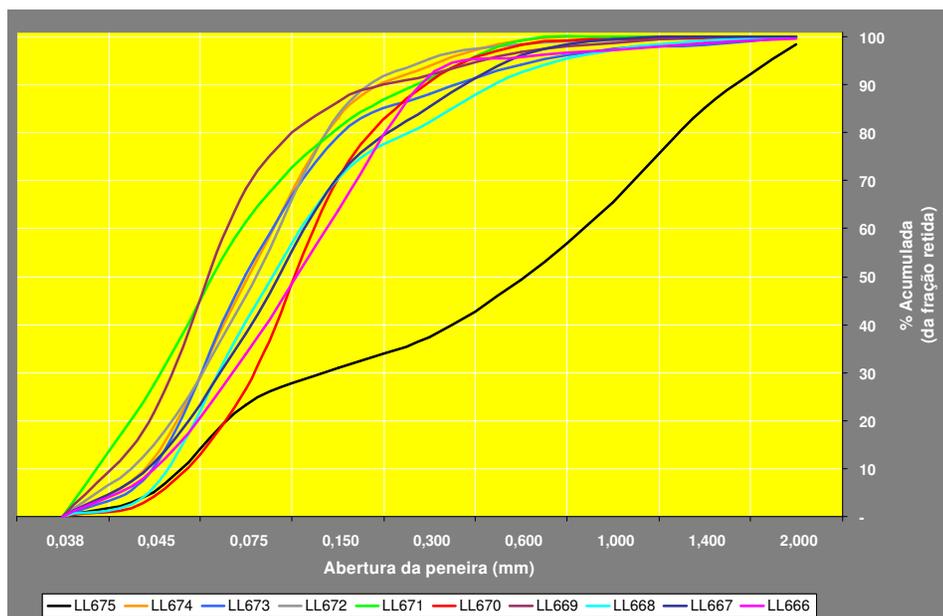


As distribuições individuais das amostras LL667, LL668, LL669, LL671, LL672, LL673 e LL674 são similares, ou seja, apresentam uma fração passante pela menor abertura de peneira (0,038 mm) superior a 90%, mas diferem das distribuições das amostras LL675, LL670 e LL666 (fração passante de 83%, 73,5% e 74%, respectivamente).

A distribuição da amostra LL675 é particularmente distinta, por apresentar partículas relativamente grosseiras (tamanho médio de partícula entre 0,3 e 2 mm) e duras de hematita, mais conhecidas como “chumbinho”. Como o laminador da preparação da fábrica proprietária da jazida não tem potência suficiente para triturar os grãos do “chumbinho”, a argila da qual a amostra é proveniente não é aproveitada.

Como pode ser visto adiante, essa argila, se devidamente tratada, pode ser uma excelente matéria-prima para a fabricação de blocos cerâmicos.

O gráfico a seguir representa a distribuição granulométrica acumulada da fração retida em peneira, ou seja, da fração com tamanho de partícula superior à menor abertura de peneira (0,038 mm), que corresponde à menor parte do conteúdo da argila (a diferença entre 100 e os números acima das colunas de cor verde dos gráficos das distribuições individuais). Essa pequena parte, contudo, afeta diretamente a secagem, a plasticidade da massa, a resistência após secagem, a porosidade e a absorção após queima. A similaridade entre as distribuições das amostras, com exceção da amostra LL675, é evidente.



A preparação por via semi-úmida (tipo de preparação em uso nas empresas mencionadas), deve ser capaz de triturar a fração com tamanho de partícula superior a 1,5 mm, um limite considerado adequado para massas utilizadas na fabricação de blocos cerâmicos. Em se tratando de massas para telha, recomenda-se tamanho médio de partícula próximo a 1 mm. Não obstante, em ambos os casos esses limites são atingíveis somente se a preparação contar com laminadores com potência suficiente e eficiente controle de abertura entre cilindros.

Laminadores com diâmetro de cilindro de 0,8 m, com raspadores instalados e controle mecânico de abertura, se alimentados com baixo fluxo de argila, seriam eventualmente capazes de reduzir a granulometria da argila para valores médios próximos de 1,5 mm. Idealmente, para garantir continuamente essa granulometria, os laminadores empregados deveriam possuir 1 mm de diâmetro e sistema hidráulico de controle de abertura entre cilindros, além de raspadores adequados.

Os laminadores utilizados na grande maioria das empresas mencionadas não possuem potência e controle de abertura que possam garantir uma distribuição granulométrica adequada. Conseqüentemente, as propriedades do produto acabado serão

sempre inferiores ao esperado, mesmo que a matéria-prima seja de elevada qualidade. Qualquer melhoria de qualidade do produto acabado dependerá em grande medida da readequação dos laminadores da preparação, os únicos equipamentos com a função e capacidade para reduzir o tamanho de grão da matéria-prima, de forma que os mesmos possam garantir uma distribuição granulométrica com tamanho máximo de grão inferior a 1,5 mm.

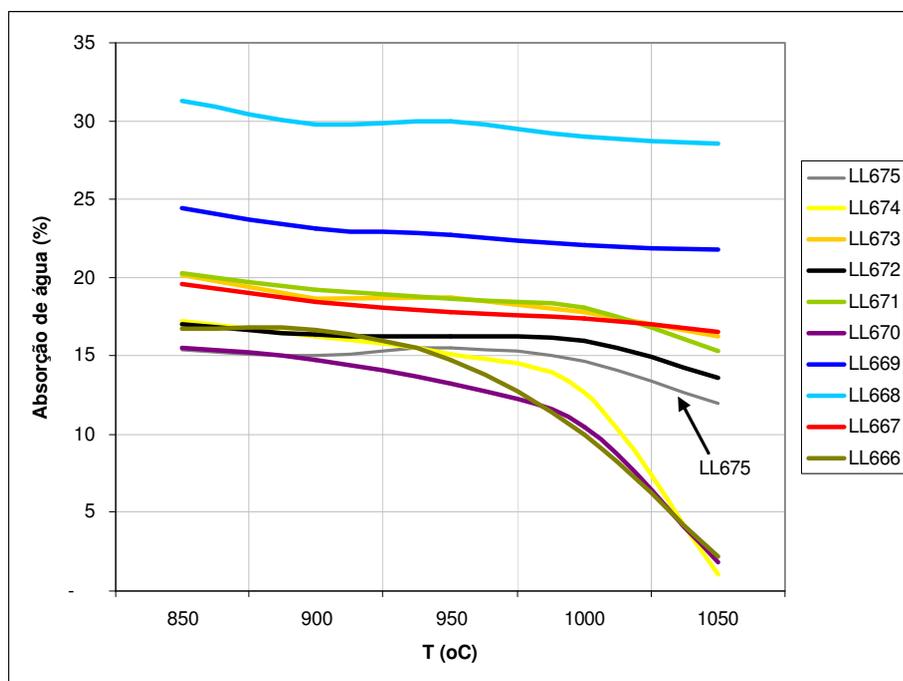
É importante frisar que outros fatores devem ser considerados para se atingir um nível de eficácia apropriado na preparação de massas e argilas: formação de estoques de matérias-primas em camadas (se a massa for composta por mais de um tipo de argila), sazonalidade por tempo adequado, homogeneidade, etc.

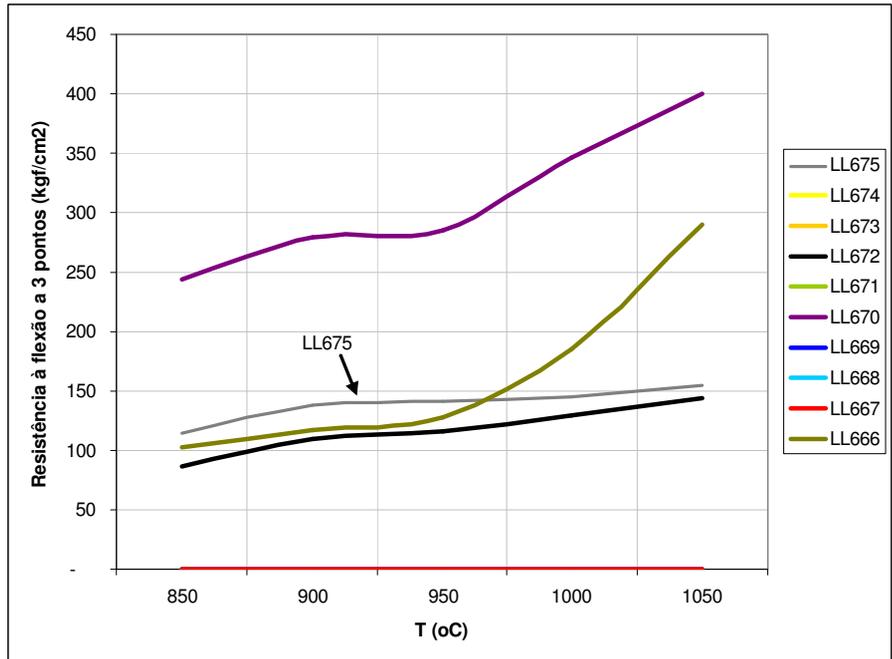
Os técnicos da área cerâmica, de um modo geral, reconhecem que os produtos de cerâmica estrutural, fabricados em plantas com preparação por via seca moderna, apresentam propriedades superiores comparativamente à base semi-úmida. Se somarmos esse fato à diminuição contínua do investimento necessário para instalar esse tipo de preparação, à possibilidade de eliminar o sazonalidade e a possibilidade de aproveitar matérias-primas que não seriam eficientemente processadas por via semi-úmida, é de se esperar um aumento no número de plantas cerâmicas, tanto nas já existentes quanto nas que ainda surgirão, com preparação por via seca.

Um grande obstáculo, no entanto, deve ser superado antes de se optar pela via seca: o custo energético e de capital associado à secagem da argila. Como já comentamos anteriormente, a moagem torna-se ineficiente e custosa se a umidade da matéria-prima for superior a 12%. Caso as matérias-primas disponíveis tenham que passar por secagem, a viabilidade da via seca dependerá do custo da secagem da argila, composta pelo custo de investimento no secador e pelo custo do combustível utilizado para gerar ar quente.

Para exemplificar o potencial da preparação por via seca, vamos analisar os resultados obtidos com a amostra LL675 após moagem, apresentados na tabela abaixo e nas figuras da página seguinte. É importante lembrar que essa matéria-prima não tem sido utilizada devido à presença do “chumbinho”, que não pode ser triturado pelos laminadores instalados.

ÍNDICE DE PLASTICIDADE (Pfefferkorn)			37,2		
UMIDADE DE EXTRUSÃO (%)		DENSIDADE APARENTE Seco (g/cm <sup>3</sup> )	DUREZA DO EXTRUDADO (Kgf/cm <sup>2</sup> )		VÁCUO DE EXTRUSÃO
26,7 ± 0,4		1,8 ± 0,0	2,2		680
PROPRIEDADES APÓS SECAGEM					
RETRAÇÃO (%)		MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	REABSORÇÃO DE ÁGUA (após 24 hs) (%)		MOR <sub>reab.</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )
6,1 ± 0,1		74,9 ± 2,9	5,2 ± 0,4		18,3 ± 1,4
PROPRIEDADES APÓS QUEIMA					
PROPRIEDADE	TEMPERATURA (°C)				
	850	900	950	1000	1050
Retração (%)	1,5	1,7	2,1	2,6	3,7
Desvio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Perda de Massa (%)	8,5	8,3	8,4	8,8	8,9
Desvio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Absorção (%)	15,4	15,0	15,5	14,7	12,0
Desvio	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1
Flexão 3p (kgf/cm <sup>2</sup> )	114,4	137,4	141,0	145,0	154,5
Desvio	6,1	6,1	6,7	7,3	6,4
Dens.Apar. (g/cm <sup>3</sup> )	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
Desvio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Porosidade Apar. (%)	28,7	28,3	28,6	28,2	23,8
Desvio	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2





(a resistência igual a zero não é visível)

Os gráficos da absorção e da resistência mecânica comprovam que a argila LL675, rejeitada por não poder ser processada por via semi-úmida, se corretamente processada por via seca resulta em uma matéria-prima de boa qualidade, adequada para produtos de cerâmica vermelha.

É importante frisar que as amostras analisadas apresentam propriedades, como absorção e resistência mecânica, razoáveis somente a temperaturas acima de 950°C, um patamar que os fornos em uso no oeste paranaense têm dificuldade, ou mesmo incapacidade de atingir.

## REFLEXÕES SOBRE AS FÁBRICAS DO OESTE PARANAENSE

Aos fabricantes de cerâmica vermelha da região oeste do Paraná interessa, sobretudo, resposta às seguintes questões:

- 1) Como posso melhorar o rendimento da massa ou argila utilizada ?
- 2) O que posso produzir com as minhas argilas ?
- 3) Quais são os equipamentos de preparação indicados para as minhas matérias-primas ?

- 4) Como posso melhorar a secagem do meu produto e quais os equipamentos mais indicados para essa operação ?
- 5) Como melhorar o desempenho dos fornos disponíveis na região ?
- 6) Qual o tipo de forno mais indicado para as matérias-primas da região ?

Inicialmente, é necessário levar em consideração o simples fato de que, independentemente da modernidade ou obsolescência, elevada ou baixa potência dos equipamentos instalados em toda a fábrica, qualquer melhoria na massa, na eficiência do processo como um todo e na qualidade do produto acabado, depende de um bom conhecimento das características e comportamento das matérias-primas consumidas.

Esses dados são essencialmente técnicos e podem ser obtidos com o auxílio de um laboratório equipado para caracterizar argilas. Acima de tudo, o fabricante deve se conscientizar de que o sazonalidade das argilas antes do seu consumo é fundamental para se obter uma massa com boa plasticidade e bom comportamento na extrusão. A baixa plasticidade nas argilas da região oeste é artificialmente compensada pelo excesso de material orgânico presente em algumas delas. Se por um lado isso permite a utilização de extrusoras de baixa potência, por outro dificulta a secagem e causa retração excessiva de queima.

O sazonalidade permite a redução do excesso de material orgânico, a desagregação dos torrões de argila e maior homogeneidade na distribuição da sua umidade natural. A diminuição do índice de plasticidade pela redução do teor de material orgânico “lubrificante”, é compensada pela destruição dos torrões e a melhor distribuição da umidade. Estes dois fatores elevam a plasticidade a níveis bem superiores aos que são verificados nas argilas não sazonadas.

A composição e a granulometria da massa são outros fatores de capital importância para o seu desempenho. O emprego de argilas de várzea como principal componente da massa para contornar a deficiência nos equipamentos da preparação e de extrusão é solução duvidosa, por aumentar as perdas de secagem e queima. Algumas das argilas analisadas não são consumidas, apesar do seu potencial, devido às limitações dos equipamentos de fábrica. Em alguns casos, essas argilas podem ser os componentes que faltam para a melhoria das massas. Uma granulometria grosseira, ou seja, a presença de um volume significativo de grãos com tamanho superior a 1 mm, apesar

de facilitar a secagem, pode afetar negativamente a plasticidade e a resistência após secagem.

Os resultados laboratoriais das amostras LL666, LL670 e LL674 revelam que estas argilas têm a resistência após secagem severamente reduzida, ou até totalmente anulada, devido à reabsorção de umidade (fenômeno mais conhecido com revenido da massa). Tal comportamento pode ser consequência da presença de argilominerais da família da montmorilonita. Nesse caso, para evitar perdas excessivas antes da queima, é necessário minimizar o tempo entre a saída do secador e a entrada no forno ou adotar um tipo de pré-forno para evitar a reabsorção de umidade.

Portanto, para melhorar o desempenho da massa, recomenda-se analisar em detalhe as argilas disponíveis, considerar a possibilidade de adicionar novas argilas, a redução do teor de material orgânico, limitar a granulometria da fração grosseira a valores abaixo de 1,5 mm e, acima de tudo, praticar o sazonalamento por períodos nunca inferiores a seis meses.

As matérias-primas analisadas, de um modo geral, se as massas forem formuladas a partir de uma base técnica eficaz, sazonaladas e preparadas adequadamente, podem ser utilizadas na fabricação de blocos cerâmicos, de vedação e estruturais, de boa qualidade, entre outros tipos de produto. A fabricação de telhas de qualidade aceitável, contudo, dependerá, além de desenvolvimento de massas mais complexas, de tecnologia e equipamentos modernos.

Considerando a granulometria das amostras, a preparação da massa das fábricas que utilizam essas argilas deve contar com laminadores capazes de limitar o tamanho máximo de grão a 1,5 mm, em operação contínua. Laminadores com cilindros com ao menos 0,8 m de diâmetro e abertura entre cilindros mantida constante por um sistema hidráulico devem ser considerados. Recomenda-se também o uso de desagregadores para tratar os torrões que o sazonalamento não destruiu completamente, adição de um mínimo de água antes da laminação grosseira, laminação grosseira (abertura entre cilindros entre 3 e 5 mm), descanso por uma semana em silo ou depósito intermediário no interior da fábrica (com proteção contra ventos, chuva e sol) e finalmente, laminação fina (abertura entre cilindros de 1,5 mm).

A secagem dos produtos cerâmicos fabricados em escala industrial deve ser realizada em equipamentos especialmente construídos para esse fim, ou seja, em secadores artificiais. A secagem natural é pouco indicada por limitar o volume de produção, estar sujeita às condições meteorológicas e não ser capaz de remover o volume de água necessário para o bom rendimento da queima.

A maioria dos produtores que utilizam a secagem natural é obrigada a consumir um volume muito maior de combustível para remover, já no forno, o excesso de umidade do produto. É importante lembrar que o forno não é um secador eficiente. Recomenda-se a construção de secadores semicontínuos corretamente dimensionados para o volume de produção de cada fábrica, com equipamentos e tecnologia que minimize perdas e o consumo de combustível, independentemente do tipo.

Mesmo nas fábricas com produção muito limitada, abaixo de 10 ton/dia, é possível utilizar secadores de câmara, intermitentes, capazes de operar com maior eficiência e produtividade do que a secagem natural. Com o auxílio de técnico especializado, é possível desenvolver tanto fornos contínuos quanto secadores semicontínuos que atendam às necessidades da região.

Ao analisar as propostas de diferentes construtores de secadores, o produtor deve optar pelos equipamentos desenvolvidos em função das características das argilas disponíveis para consumo, relegando para segundo plano outros fatores.

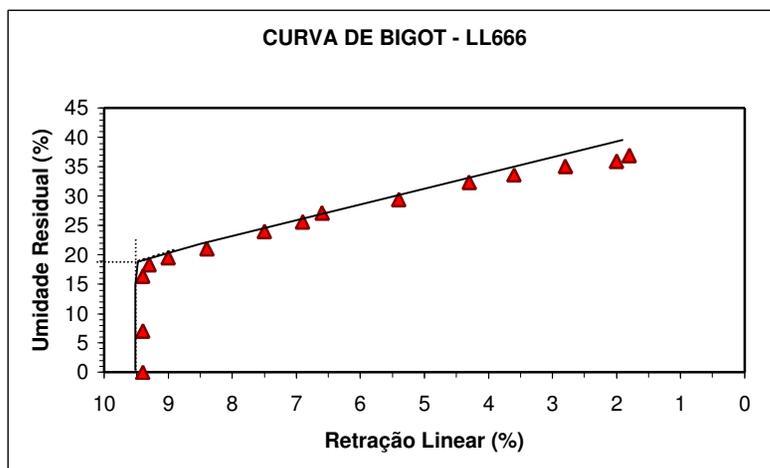
Para decidir se um determinado projeto de secador é adequado para o seu caso, o produtor deve solicitar garantia formal de que o equipamento será capaz de secar continuamente o volume desejado de material fabricado, com limite para a perda de secagem e para a umidade do produto na saída.

É fundamental que o fornecedor tenha acesso à caracterização tecnológica completa das argilas do cliente, ainda que para tanto ele mesmo tenha que providenciá-la. Os principais ensaios de caracterização tecnológica são apresentados na tabela abaixo.

ENSAIO	RESULTADO
PENEIRAMENTO EM VIA ÚMIDA	Distribuição granulométrica
AVALIAÇÃO DA PLASTICIDADE (Casagrande ou Pfefferkorn)	Índice de plasticidade
DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO DE SECAGEM E QUEIMA	Retração linear de secagem e queima
DETERMINAÇÃO DA CURVA DE BIGOT (ponto crítico)	Umidade residual quando cessa a retração de secagem
DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA APÓS SECAGEM E QUEIMA	Resistência à fratura por flexão a 3 pontos, após secagem e queima
REABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS SECAGEM (revenido)	Volume de água reabsorvido após secagem e exposição ao meio ambiente
PERDA AO FOGO	Perda de massa (peso) durante a queima

A utilidade da distribuição granulométrica, do índice de plasticidade, retrações de secagem e queima, resistências mecânicas após secagem e queima e perda de massa dispensa maiores comentários, uma vez que é de conhecimento geral. O ensaio de determinação da curva de Bigot, por ser pouco conhecido, merece maior atenção.

O objetivo da construção da curva de Bigot, exemplificada abaixo, é determinar a umidade retida no produto no momento em que cessa a retração linear de secagem, isto é, a umidade que permanece retida no produto após os grãos de argila se tocarem.



Para o controle de um secador contínuo ou semicontínuo, isso implica em determinar em que ponto do secador, ou após quanto tempo é possível aumentar a velocidade de secagem sem correr o risco de trincar o material (aumentar a temperatura por meio da regulagem da injeção de ar quente). Para a construção de uma curva de secagem apropriada, esse dado é fundamental.

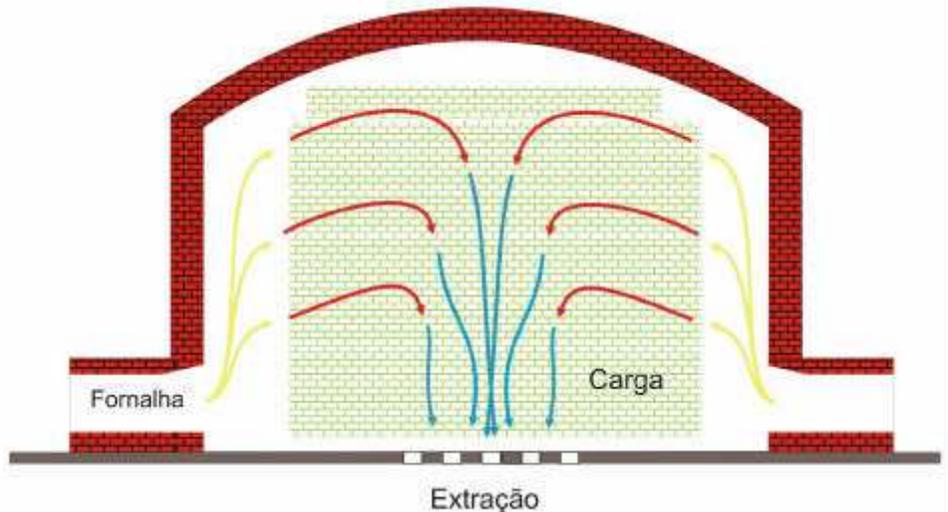
Não se pode alterar as características básicas das argilas, mas sim melhorar alguns aspectos do seu comportamento. A curva de Bigot, que determina qual a umidade residual ainda presente no produto quando cessa a retração de secagem, a umidade residual desejada e a sensibilidade à velocidade de secagem, são dados críticos para se projetar o secador adequado. Como não é possível saber antecipadamente se um determinado projeto atende às necessidades do produtor, é importante estabelecer um contrato de fornecimento com cláusulas que estabeleçam limites para as perdas, volume mínimo de produção, etc.

Aos resultados dos ensaios de caracterização, podemos acrescentar os obtidos por técnicas mais sofisticadas, como ATD/ATG (análise termodiferencial e análise termogravimétrica), DRX (difração de raios-x), análise química e dilatométrica da massa a verde. Essas técnicas fornecem dados que permitem, juntamente com os dados da caracterização tecnológica, racionalizar a secagem e a queima dos produtos.

Em todo o território nacional existem poucos laboratórios equipados com recursos técnicos e humanos capazes de atender às demandas dos produtores de cerâmica vermelha, motivo de freqüente queixa por parte dos produtores. Entretanto, dentre esses, destaca-se o novo laboratório da MINEROPAR. A sua disponibilidade representa um grande avanço e preenche uma importante lacuna na área de prestação de serviços especializados, como avaliação de jazidas, análise de argilas e massas e controle de processo.

Os fornos intermitentes, ora utilizados na região Oeste do Paraná, não foram construídos para trabalhar com pressão positiva, de forma que o ar quente percorrerá sempre a periferia da carga na direção do topo do forno, aquecendo preferencialmente o material dessa parte da carga.

A ação da extração da chaminé faz com que ao menos parte dos gases passe pelo interior da carga e aqueça essa região da carga. Como a temperatura dos gases será bem inferior à temperatura de entrada no forno, o resultado é um gradiente de temperatura semelhante ao representado na figura abaixo.



Dessa forma, a probabilidade do centro da carga desse tipo de forno conter material com queima deficiente é muito elevada. Por outro lado, esse tipo de forno também pode gerar perdas elevadas em razão da queima excessiva do produto próximo às saídas das fornalhas.

Como os fornos intermitentes com capacidade de eliminar o gradiente de temperatura entre o centro e periferia da carga utilizam gás natural ou gás liquefeito de petróleo, esses não se apresentam como a melhor opção para os fabricantes do Oeste do Paraná.

Em razão desses fatores, o forno contínuo, tipo túnel, capaz de queimar uma gama variada de combustíveis, desponta como a melhor opção para a região. Algumas particularidades técnicas, no entanto, têm que ser levadas em conta.

Fornos tipo túnel de construção adequada, mesmo que não trabalhem com pressão positiva, são capazes de minimizar o gradiente térmico entre o topo e a base da carga, resultando em produtos com propriedades homogêneas. Da mesma forma que para

o secador, o projeto do forno deve ser adaptado para processar com eficiência as argilas utilizadas na fábrica em questão. O investimento de capital é bem superior ao do forno intermitente, porém a produtividade, o baixo consumo energético por tonelada produzido somado à longevidade do equipamento, compensam e muito o maior dispêndio.

Por fim, sugere-se aos produtores o abandono de um dos hábitos mais arraigados no setor: a visita aos colegas produtores de outros estados, com a finalidade de copiar soluções ou adaptações desenvolvidas nas suas fábricas. Em se tratando de tecnologia cerâmica, saber “o porquê fazer dessa forma” é tão ou mais importante do que “saber como fazer”. Quem tem domínio sobre o “porquê fazer” sempre terá mais sucesso do que quem sabe apenas “como fazer”. Dito de outra maneira, soluções desenvolvidas e bem sucedidas em uma determinada região do país não necessariamente terão o mesmo desempenho em outras. A razão para isso é a de sempre: as variações naturais das argilas.

Com este manual, a MINEROPAR procura contribuir para que os ceramistas paranaenses tenham subsídios para produzir com mais tecnologia, mais economia e disponibilizem ao mercado produtos com qualidade e a custos competitivos.