



FANESE - Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe.

Materiais

Para

Engenharia

Aracaju / SE

2006.



FANESE
Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe.

VANDERSON PINHEIRO DE RESENDE.

Visita a Fábrica de Revestimentos Cerâmicos SAMARSA

Relatório referente a visita realizada
no dia 02-12-2006 à Fábrica de
Revestimentos Cerâmicos SAMARSA
relativa cadeira de Materiais para
Engenharia da FANESE (Faculdade de
Administração e Negócios de Sergipe).

ORIENTADOR: Herbet A. de Oliveira

Aracaju / SE
2006.

Relatório de Visita técnica a Fábrica de Revestimentos Cerâmicos SAMARSA.

Resumo: O relatório que aqui será apresentado tem por finalidade descrever as diversas fases do processo utilizado para a fabricação de revestimentos cerâmicos que foram detectadas durante a visita que fora efetuada a Fábrica de Revestimentos Cerâmicos Santa Márcia (SAMARSA). Aqui também apresentaremos os estudos e as pesquisas feitas no aprofundamento do processo em questão, com relação as técnicas utilizadas e novas tecnologias desenvolvidas atualmente no setor cerâmico.

1. Introdução.

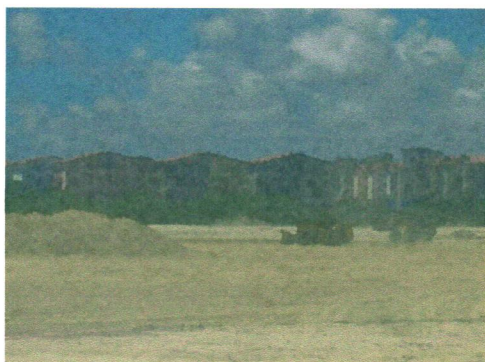
Existem, basicamente, dois tipos de revestimentos cerâmicos. Os brancos e vermelhos. Os brancos são produzidos, em sua maioria, na região Sul do país, principalmente no estado de Santa Catarina e fazem parte da Anfacer (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmicas para Revestimento). Os vermelhos vem do interior de São Paulo, principalmente da região de Santa Gertrudes. Seus fabricantes fazem parte da Aspacer (Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento). A briga entre eles é antiga. A diferença fundamental está no processo da queima da argila, a matéria prima da cerâmica. Enquanto os fabricantes "vermelhos" retiram a matéria prima da terra e colocam no forno a peça apenas no processo de queima, os "brancos" são queimados úmidos, ou seja: a argila é retirada do solo e vai sendo queimada após uma moagem que é feita com água. É um processo que envolve mais equipamentos e tempo. Ou seja: é preciso mais investimentos. Cada ambiente, por seu uso, tem suas características. Por isso as fábricas de

revestimento criaram produtos com fórmulas diferentes para cada uso. Por exemplo: para uma parede não é necessário que o revestimento tenha resistência à abrasão (atrimento). Já nos pisos este atributo é fundamental. Mas, conforme o local, a demanda desta resistência é diferente: em um banheiro íntimo a circulação das pessoas é muito restrita, ao contrário de um restaurante.

A indústria de revestimentos cerâmicos constitui um segmento da indústria de transformação, de capital intensivo, inserido no ramo de minerais não-metálicos, e tem como atividade a produção de pisos e azulejos, representando, juntamente com a cerâmica estrutural vermelha (tijolos, telhas e outros refratários), as louças e o vidro, uma cadeia produtiva que fazem parte do complexo industrial de materiais de construção. Vamos apresentar este relatório dividido em fases, ou seja, apresentaremos o objeto de estudo descrito neste relatório seccionado em suas principais etapas.

2. A extração.

Assim como na extração de matéria-prima para a fabricação do cimento, os campos de mineração para obtenção das matérias-primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional é natural, encontrando-se em grande abundância em depósitos espalhados na crosta terrestre; Na fábrica em questão, SAMARSA, não é diferente, efetua-se a retirada da vegetação, da camada superficial do solo e do subsolo, formando cavas que possuem profundidade variando de 1 à 4 m. Como consequência mais relevante desta exploração, tem-se a eliminação da camada estruturada do perfil, onde há maior disponibilidade de matéria orgânica, nutrientes e atividade microbiana; Trazendo então consigo a perda de nutrientes importantes às plantas, principalmente aqueles que têm sua dinâmica no sistema solo-planta altamente relacionada a fontes orgânicas, como é o caso do fósforo, do



enxofre e, em especial, do nitrogênio. De uma forma geral os processos de extração dos recursos da natureza são potencialmente impactantes, tendo em vista a grande manipulação de materiais, a conseqüente transgressão paisagística, o uso de metais pesados e substâncias tóxicas, dentre outros efeitos ligados à má remuneração de trabalhadores, contaminação de ecossistemas e conseqüente danos à saúde humana. São extraídos então os materiais essenciais para a fabricação dos revestimentos cerâmicos como: a **ARGILA**, "*Chama-se argila ao material formado de minerais (principalmente compostos de silicatos e alumina hidratados) que têm a propriedade de formarem, com água, uma pasta suscetível de ser moldada, secar e endurecer, sob ação do calor*" (Teixeira, 1999:176). Segundo a citação ela é uma matéria-prima utilizada na fabricação de uma série de produtos cerâmicos, que tem como sua principal característica a apresentação de matérias que tendem a trazer boa plasticidade; apresentando também resistência mecânica após queima adequada para uma série de aplicações; ainda mais possibilitam a aplicação de técnicas de processamento simples; e como citado anteriormente disponível em grandes quantidades no sub-solo terrestre.

Outro material essencial para a fabricação de revestimentos cerâmicos é o **FILITO**, o ceramista brasileiro dá o nome de filito cerâmico a uma rocha metamórfica, estratificada ou laminada, composta de uma mistura de **caulinita**, **mica moscovita** finamente dividida ou **sericita** e **quartzo** em proporções variáveis; apresentam os filitos de cores claras no estado natural, com um teor de óxido de potássio geralmente da ordem de 3 a 5%. Tem como uma de suas aplicações em massa de grês sanitário

como substitutos parciais da fração argilosa e do **feldspato**, além de serem empregados em várias proporções para **aumentar a velocidade de sinterização de massas cerâmicas**, sua capacidade de ser compactado é adicionado a massa para formação dos revestimentos adicionando-o.

Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificados.

3. O armazenamento da matéria prima.

Na armazenagem encontramos materiais como o **FILITO** e a **ARGILA**, citados anteriormente e considerados na oportunidade então como as matérias principais para a formação dos revestimentos produzidos na fábrica em questão (SAMARSA);

Nesta fase do processo as matérias primas espalhadas pelo pátio de armazenamento são dispostos em faixas, ou laminas como são chamados, seguindo sempre um padrão de armazenamento como o fim de que se obtenha uma primeira homogeneização das matérias-primas utilizadas neste processo em questão. A utilização do sistema de formação de pilhas de estocagem de argilas proporciona

melhorias significativas no processo de fabricação de produtos cerâmicos, pois além de tornar mais uniforme a matéria-prima, também melhora as suas propriedades tecnológicas. Cito também aqui um fato interessante em meu ponto de vista no processo em questão, o seguinte fato: o de que a empresa visitada possui um pátio em proporções menores para um armazenamento de sobrelida da produção, ou seja, um pequeno pátio coberto onde parte da matéria prima também é estocada para fins como os de sua utilização em períodos onde não se é possível a retirada da matéria-prima nos campos de exploração das mesmas devido

fatores diversos como: chuva, intempéries rotineiras, e demais causas.



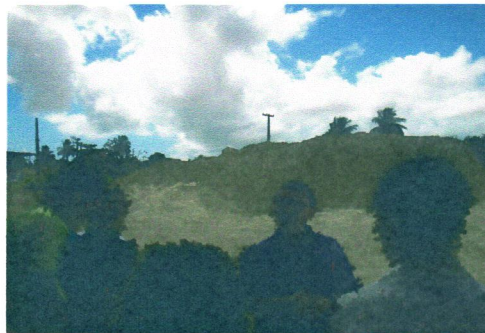
A grande maioria dos depósitos de argilas secundárias ou transportadas apresenta variações expressivas nas características das matérias-primas ao longo dos jazimentos minerais, tanto na direção lateral quanto vertical. Quando essas argilas são utilizadas na produção de produtos cerâmicos sem a devida homogeneização, o controle das etapas do processo produtivo se torna difícil, o que frequentemente resulta em produtos com baixa qualidade e elevada variabilidade. Por outro lado, quando as matérias-primas utilizadas no processo produtivo apresentam boa qualidade e constância, a otimização do processo e a utilização de sistemas apropriados de monitoramento contínuo dos produtos finais se tornam possível, o que resulta invariavelmente em variações menos significativas na qualidade dos produtos finais¹. Desta maneira, é fundamental proceder à homogeneização das

matérias-primas, começando já na lavra, uma vez que o ajuste dos sistemas de dosagem no interior da instalação é pouco eficaz se os componentes da mistura apresentam variações significativas. Além da maior homogeneidade que a formação de pilha confere à matéria-prima alimentada ao processo, sabe-se que o processo de estocagem por um dado período de tempo é ainda capaz de melhorar as características tecnológicas da argila. Dados da literatura relatam que a exposição das argilas ao **sazonamento*** favorece a ocorrência de reações químicas e biológicas na pilha, que têm como consequência, a melhora de certas propriedades da matéria-prima, principalmente a plasticidade². Embora os mecanismos que atuam durante este processo ainda não sejam suficientemente conhecidos, os principais fatores responsáveis pelo aumento na plasticidade detectado seriam a troca catiônica (modificação da carga elétrica e da superfície específica da argila), a oxidação da matéria orgânica presente e o ataque bacteriológico (excreção de polissacarídeos que atuam como ligantes entre as micelas argilosas). Além disto, as pilhas de

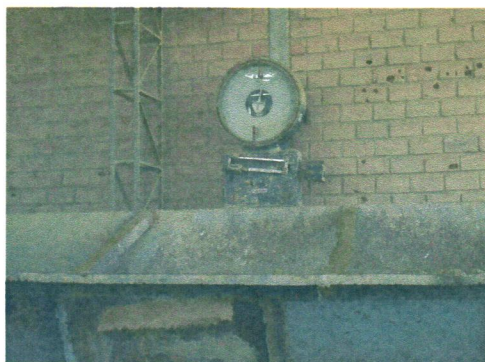
*. Tratamento que se dá ao concreto durante alguns dias depois de lançado, com o fim de evitar a evaporação da água de amassamento; cura.

homogeneização favoreceriam também um aumento da capacidade de retenção de umidade pelas partículas argilosas, conferindo às argilas características tecnológicas superiores se comparadas ao do material diretamente extraído da jazida³. Portanto, a melhor trabalhabilidade das argilas, tanto nos equipamentos de conformação como nas demais etapas do processo produtivo, proporciona ganhos de

produtividade, permitindo melhorias significativas na qualidade do produto final em função da estabilidade dimensional adquirida.



4. Pesagem.



O processo de remoção é simples, feito através de máquinas de carga como tratores e demais; as mesmas conduzem as proporções devidas a uma grande caçamba que condiciona a matéria-prima a fim de ser pesada, as proporções desejadas são de simples identificação, quanto a quantidade desejada, sendo simplesmente de $\frac{1}{2}$ (meio) percentual para cada matéria-prima que é depositada na caçamba supracitada, esta

bem rústica apresentando a utilização de uma balança tipo diferencial de pressão, os pesos são demonstrados em uma escala que se localiza na parte superior da balança, esta já está, no caso em questão, delimitada com marcas para auxiliar o operador no abastecimento correto da balança com as matérias-primas, alcançando a medida de uma caçamba completa de matéria-prima que será utilizada para o processo.



5. Moagem.

Nesta fase, as matérias pesadas na balança anteriormente citada apresentam a capacidade de abastecer um total de 12 (doze) moinhos dispostos no interior da fábrica, que trabalham tanto na continuidade da homogeneização da mistura, quanto na diminuição dos grãos. Neles a massa passa um período referente de 3 (três) horas no processo descrito. Os materiais cerâmicos geralmente são fabricados a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, sendo elas principalmente para o nosso processo em questão a ARGILA e o FILITO, além de aditivos e água ou outro meio. Mesmo no caso da cerâmica vermelha, para a qual se utiliza apenas argila como matéria-prima, dois ou mais tipos de argilas com características diferentes entram na sua composição. Raramente emprega-se apenas uma única matéria-prima.

A formulação de massas cerâmicas para revestimentos já foi abordada em diversas oportunidades neste relatório, mas os principais métodos existentes não levam em conta a “fabricabilidade” da massa. A fabricação de revestimentos cerâmicos pelo método, **via seca** – refere-se às placas cerâmicas feitas por processo de moagem a seco das matérias-primas, por



moinhos de martelo e pendulares e, depois, levemente modificada para a prensagem. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento – ANFACER e a Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento - ASPACER, **65% da produção brasileira são realizados pelo processo de via seca e 35% via úmida**. As vantagens da preparação da massa via seca em relação à via úmida estão nos menores custos energéticos e de manutenção das instalações e no menor impacto ambiental. No entanto, a via seca possui alguns limites tecnológicos que são constatados no processo utilizado pela SAMARSA (via úmida), pois não permite obter granulometria comparável, não processa uma mistura com vários componentes de natureza diversa simultaneamente, porque a agregação das partículas ocorre de maneira diferente, e ainda apresenta problemas com prensagem em relação ao material atomizado. A proporção de



cada argila na formulação deve fornecer à massa características que atendam inúmeros requisitos nas diversas operações encontradas no processo produtivo. Para a obtenção de uma massa que possua um conjunto de propriedades adequadas ao processo de fabricação, é necessário que a proporção entre as argilas constituintes da mesma seja definida com critério. No entanto, o que se verifica no meio industrial é a definição da formulação da massa em função do empirismo e da facilidade de dosagem da mistura. Porém, se as mesmas matérias-primas forem dosadas em proporções variadas, pode-se produzir uma massa com características notadamente diferentes.

Visando a determinação da proporção ideal entre as argilas, é necessário conhecer como esta variação afeta as propriedades diretamente ligadas às etapas produtivas. Conhecendo-se as propriedades das argilas individuais e das misturas realizadas a partir das mesmas pode-se avaliar se estas propriedades são regidas

pela chamada “lei da aditividade”, empregada com sucesso em estudos de formulação de vidros e vidrados. Tal lei nada mais é do que a conservação e soma das propriedades das matérias-primas (argilas) e constitui-se em poderosa ferramenta pela praticidade de análise dos resultados obtidos. No processo produtivo de revestimentos cerâmicos, os ciclos de queima são extremamente rápidos (cerca de trinta minutos) e a baixa interação entre os constituintes da massa, promovida pela moagem do método via-seca, levam a crer que algumas propriedades de interesse possam ser previstas pela “lei da aditividade”.

Podemos citar, para fins de conhecimento um resumo do processo de moagem constatado na fábrica, **via úmida** – onde acontece a mistura de várias matérias-primas (argilas, materiais fundentes, talco, carbonatos etc.), que são moídas e homogeneizadas em moinhos de bolas, em meio aquoso; secagem e granulação da massa em spray dryer (atomizador); e conformação, decoração e queima. A seleção das matérias-primas busca dar cor branca ou clara aos produtos (biscoito ou suporte). Esse tipo de processo é utilizado na Região Sul, no pólo cerâmico de Criciúma (SC), no Paraná e, em São Paulo, nos pólos de Mogi-Guaçu e da Grande São Paulo.

Alguns defeitos estão diretamente ligados a processos de moagem insatisfatórios, diversos fatores têm de ser considerados, isto por sua vez não estará englobado com a devida profundidade neste relatório por não se tratar de nosso objeto de estudo, mais vale o comentário, e uma breve abordagem sobre uma imperfeição que fora notado como comum em meio a esse processo, denominado **CORAÇÃO NEGRO**, Como mostra a **Figura 1**, o coração negro consiste em uma região escura (geralmente cinza) que se estende, paralelamente à face e próxima a meia altura da espessura, ao longo da peça. A região escura geralmente desaparece nas proximidades das bordas da peça. Algumas das principais consequências danosas da presença do coração negro, que justificam os esforços para evitá-lo, são⁴: Inchamento das peças; Deformações pirolásticas; Deterioração das características técnicas; Deterioração das características estéticas. A origem do coração negro está associada à presença de compostos de carbono (matéria orgânica) e óxidos de ferro nas argilas. Em vista a algumas pesquisas pode-se concluir que quanto

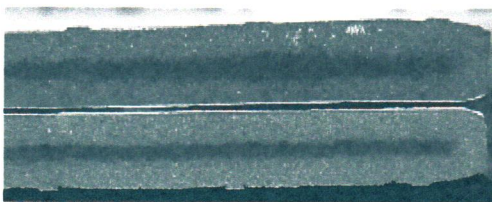


Figura 1. Revestimento apresentando coração negro.

maiores forem as concentrações de Fe e C nas matérias-primas mais intenso será o desenvolvimento do coração negro. As argilas com baixos teores de Fe são consideravelmente mais caras que as com teores elevados. Assim sendo, via de regra a substituição de argilas vermelhas, com elevados teores de Fe, por argilas mais claras, com baixos teores de Fe, implicam em uma indesejável elevação dos custos de produção. Alternativa seria a utilização de argilas com baixos teores de matéria orgânica. Barba e outros⁴ recomenda a utilização de argilas com teores de carbono de 0,5 e 0,1% (em peso) para revestimentos de massa branca e vermelha, respectivamente. Cabe salientar, entretanto, que os autores deixam claro que esses limites dependem das condições de compactação e queima e, no caso, foram estabelecidos tendo em vista as condições empregadas atualmente na Espanha.

Para finalizar, com base nas considerações acima, apresentam-se uma série de sugestões para cada uma das etapas do processo de fabricação com o objetivo de eliminar (ou reduzir) a incidência e a intensidade do coração negro desde o processo de moagem, e por sua vez algumas considerações nas demais fases do processo:

Massa: Eliminar da composição, ou utilizar teores reduzidos, de argilas que contenham elevados teores de matéria orgânica e compostos de ferro; Utilizando-se argilas ricas em matéria orgânica, aumentar a participação de matérias-primas não plásticas (quartzo, feldspato, calcita,...) para aumentar a permeabilidade do compacto verde; Em casos extremos, introduzir sais que apresentem decomposição em baixas temperaturas (cloreto de cálcio, hidróxido de amônio,...) em teores controlados para aumentar a permeabilidade da peça no início da queima.

Moagem: Ajustar as condições de operação do moinho (carga de bolas, tempo de moagem,...) para assegurar a obtenção de uma distribuição de tamanho de partículas o mais estreita possível; Aumentar a % de resíduo da massa, através da redução do tempo de moagem, para aumentar a permeabilidade do compacto verde.

Prensagem: Evitar a utilização de pressões de compactação demasiadamente elevadas, que conferem alta densidade aparente às peças e reduzem sua permeabilidade.

Secagem: Ajustar o ciclo de secagem (tempo, temperatura e circulação de ar)

de tal maneira a garantir um baixo teor de umidade residual (inferior a 1,5%) que permita a utilização de altas temperaturas na entrada do forno.

Esmaltação: Utilizar esmaltes de alto ponto de amolecimento, como os esmaltes de monoporosa, que permitem a entrada de oxigênio e a saída dos gases resultantes da decomposição da matéria orgânica, durante um maior intervalo de temperaturas no pré-aquecimento do forno; Dentre os esmaltes de alto ponto de amolecimento, dar preferência àqueles de mais baixa viscosidade e tensão superficial após o amolecimento, pois estas características favorecem a eliminação das eventuais bolhas presentes na camada de esmalte e ainda permitem o alisamento da superfície após sua eliminação.

Queima: Respeitando os limites do forno, aumentar a temperatura na entrada do mesmo e introduzir um patamar de gaseificação no intervalo de temperaturas compreendido entre 700 e 850 °C; Regular os queimadores para conferir uma atmosfera oxidante na zona de pré-aquecimento, para favorecer a oxidação dos compostos orgânicos. Em casos extremos, injetar oxigênio diretamente na atmosfera do forno para viabilizar e acelerar as reações de oxidação⁵; Trabalhando-se com esmaltes de baixo ponto de amolecimento e baixa

viscosidade, aumentar a temperatura da rampa inferior de aquecimento em detrimento da rampa superior, para acelerar a decomposição da matéria orgânica presente na massa e retardar o

amolecimento do esmalte; Aumentar ao máximo o ciclo total de queima, com maior ênfase no pré-aquecimento, dentro das limitações de custo e produção.

6. Suspensão Líquida.

Dessa forma, uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e dos aditivos, que deve seguir com rigor as formulações de massas, previamente estabelecidas. Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças. De modo geral, as massas podem ser classificadas em: **suspensão**, também chamada barbotina, para obtenção de peças em moldes de gesso ou resinas porosas; **massas secas ou semi-secas**, na forma granulada, para obtenção de peças por prensagem; **massas plásticas**, para obtenção de peças por extrusão, seguida ou não de torneamento ou prensagem.

Anteriormente a atomização nós temos a fase do processo chamada de **Suspensão Líquida**, fase esta onde se é realizado o controle de algumas propriedades como: Viscosidade; Suspensão e Densidade, esta última junto com a resistência mecânica, é uma

das propriedades mais importantes da peça cerâmica prensada, afetando o comportamento da peça em diferentes etapas do processo cerâmico e influenciando de maneira decisiva na contração linear, absorção de água, deformação pirolástica e é também um fator crucial para a resistência mecânica da peça. A igualdade de composição, do procedimento de preparação das peças e das variáveis de queima, da contração linear e da capacidade de absorção de água diminuem a medida que aumenta a densidade aparente da peça, sendo esta uma relação linear. Assim mesmo a velocidade de secagem e de oxidação da peça durante o processo de queima diminuem a medida que aumenta a densidade aparente, pois o coeficiente de



difusão efetiva dos gases diminuem quando se tem porosidade baixa. Por outro lado, variações da densidade aparente da peça podem conduzir a

7. Atomização.

Na atualidade, a grande oferta existente no mercado de pisos e azulejos cerâmicos em conjunto com a crescente exigência por parte dos clientes, faz com que a qualidade final dos revestimentos seja convertida em um fator fundamental para que o produto torne-se competitivo. As principais variáveis que incidem sobre a compactação das peças prensadas, podem ser divididas em dois grupos: as variáveis associadas ao pó atomizado e as variáveis relacionadas com a própria operação de prensagem. Dentro do primeiro grupo destacam-se como mais significativas, as matérias primas da composição e as características físico-morfológicas do granulado (tamanho, forma, umidade, fluidez, etc.)^{6,7}. Dado que as matérias primas são características de cada uma das múltiplas composições utilizadas em níveis industriais, o estudo efetuado foi centrado fundamentalmente sobre as características do pó atomizado.

Resumidamente, pode-se afirmar que a atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas (denominada na cerâmica por

contrações diferenciadas que se traduzem em produtos fora de esquadro, curvaturas, bitolas diferentes, etc.

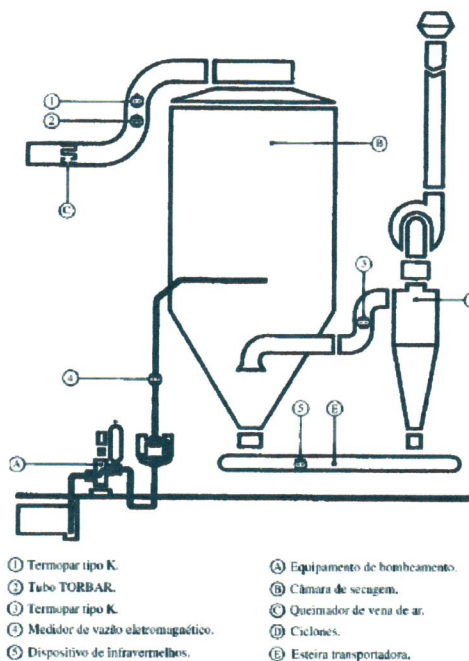
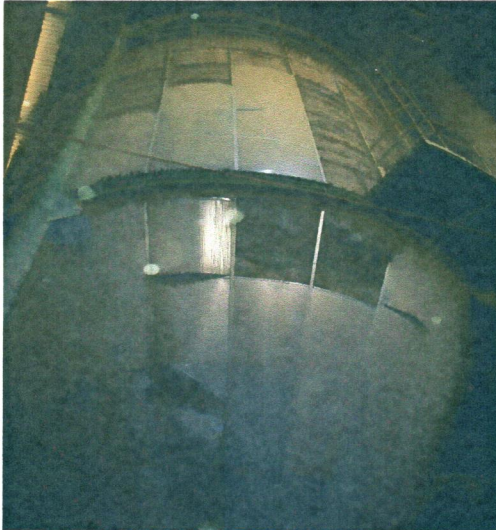


Figura 3. Localização dos instrumentos de medida: 1. Termopar tipo K; 2. Tubo TORBAR; 3. Termopar tipo K; 4. Medidor de vazão eletromagnético; 5. Dispositivo de infravermelhos; A. Equipamento de bombeamento; B. Câmara de secagem; C. Queimador de vena de ar; D. Ciclones; E. Esteira transportadora.

“barbotina”) em partículas secas, a partir da pulverização da suspensão no interior de uma câmara aquecida (atomizador). O produto resultante pode ser constituído por pó, grânulos ou aglomerados de grânulos menores. A forma destas partículas depende muito das propriedades físicas e químicas da suspensão, das características do atomizador e das condições de operação.

Tal processo, em geral, é finalizado com a evaporação parcial da água contida na barbotina concomitantemente com a formação de aglomerados esféricos.



A distribuição granulométrica de uma massa para revestimento não é particularmente diferente daquelas atomizadas empregadas na produção de pavimentos (monoqueima), grês porcelanato, etc. O processo de atomização é uma técnica de obtenção de pós utilizada em muitas indústrias, como as de plásticos, resinas, detergentes, pesticidas, corantes (pigmentos), fertilizantes, produtos alimentícios (leite em pó, café solúvel, extratos de plantas, etc.), produtos farmacêuticos e também na cerâmica⁸. Na fabricação de produtos cerâmicos, a atomização teve início em meados da década de 50 e atualmente mais de 50% do volume total Europeu de pavimentos, revestimentos e cerâmicas elétricas são

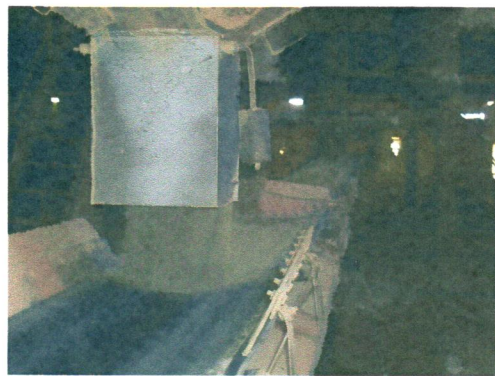
feitos a partir da prensagem de pós atomizados. Mais recentemente o surgimento da prensagem isostática na produção de artigos de louça doméstica (pratos) introduziu também a atomização neste subramo da indústria cerâmica (essencialmente nos produtos de porcelana).

A barbotina, habitualmente composta por partículas sólidas em suspensão aquosa suficientemente dispersas (defloculada), é bombeada para um sistema dispersor, localizado no interior de uma câmara de secagem ventilada com ar previamente aquecido, e finalmente dividida num elevado número de pequenas gotículas⁶. Essas gotículas pulverizadas, que rapidamente adquirem uma forma esférica, por ação da forte pressurização exercida e pela tensão superficial, sofrem uma rápida evaporação de água. Os granulados secos resultantes são separados do ar quente e úmido para posterior utilização⁷. De acordo com Lukasiewicz⁶, uma completa



caracterização da suspensão preparada para atomização é vital para manter um bom processo de produção do granulado atomizado. Por outro lado, sendo a atomização um processo contínuo, pode originar com relativa facilidade oscilações na distribuição granulométrica do produto final. Por esse motivo, é aconselhável controlar convenientemente todos os parâmetros de processamento e, de uma forma mais sistemática, durante o período em que é realizada a atomização propriamente dita. Relativamente ao sistema de dispersão existem três diferentes tipos de atomizadores: *a) atomizadores rotativos*, constituídos por um disco que trabalha a elevadas velocidades de rotação (superiores a 20000 rpm) através do qual é bombeada a barbotina a baixa pressão (< 100 psi). Este tipo de atomizador permite atingir maiores capacidades produtivas, obter melhor homogeneização do pó e menor desgaste dos componentes de pulverização. O tamanho das partículas obtidas é inversamente proporcional à velocidade e ao diâmetro dos discos; *b) atomizadores de bicos de pressão*, que funcionam com uma lança em cuja extremidade se encontra um bico pulverizador, que poderá ter diferentes diâmetros de abertura. Estes atomizadores produzem pós com distribuição granulométrica menos

homogênea e com tamanhos inversamente proporcionais à pressão de bombeamento. A quantidade de pó atomizada está limitada pelo tamanho do orifício do bico e é proporcional à pressão aplicada. Uma vez que o jato responsável pela pulverização imprime elevadas velocidades verticais na barbotina, as câmaras deste tipo de atomizadores são em geral mais longas; *c) atomizadores pneumáticos*, em que a pulverização da barbotina é feita também através de um bico, no interior do qual se dá uma mistura com ar comprimido injetado à elevada velocidade. Este sistema originou maior eficiência na atomização, embora não seja tão versátil como os atomizadores de bicos de pressão⁶. São normalmente empregados para utilizações de pequena



escala (menos de 50 Kg/h) e especialmente para suspensões com valores de viscosidade e de densidade demasiadamente elevados.

No que diz respeito à forma de contato entre as partículas pulverizadas e o ar de secagem são utilizados na

cerâmica três tipos diferentes de atomizadores: *contra-corrente*, *co-corrente* e *mistos*⁸. As condições de co-corrente ocorrem quando o ar seco entra na câmara de atomização no mesmo sentido de pulverização da barbotina.



Neste caso, as pequenas gotículas formadas são expostas ao ar mais quente e mais seco imediatamente após a sua formação. À medida que as partículas atomizadas vão descendo, a velocidade de evaporação vai decrescendo, uma vez que o ar vai se tornando mais frio e úmido. Na cerâmica, os atomizadores em co-corrente são normalmente utilizados com pulverização em discos rotativos. No sistema em contra-corrente a entrada de ar quente e seco está localizada na parte inferior do atomizador, enquanto que a pulverização da barbotina se dá no topo e em sentido oposto. Contrariamente ao primeiro caso, as

gotículas formadas entram primeiramente em contato com o ar mais frio e úmido e, à medida que vão descendo, o ar de contato vai se tornando mais quente e seco. Os atomizadores mistos combinam as condições dos sistemas de co-corrente e contra-corrente.

Inicialmente, a direção do ar quente e seco relativamente à direção das partículas atomizadas é oposta, embora a partir de determinada altura ocorra no mesmo sentido. Este tipo de atomizador, conjuntamente com os de bicos de pressão (Figura 1-B), são muito usados em pequenas unidades laboratoriais ou instalações piloto, uma vez que a trajetória dos granulados atomizados é mais extensa, tornando possível secar convenientemente os grãos em câmaras menores.

A capacidade de atomização é determinada também pela quantidade de água que poderá ser evaporada por hora, dependendo da quantidade de ar seco envolvido e da temperatura do mesmo⁸. Por outro lado, uma maior fração de sólidos na barbotina resultará num aumento da quantidade de pó na saída e numa diminuição da quantidade de água a ser evaporada, ou seja, num aumento da produtividade do atomizador. A maioria dos granulados obtidos a partir da atomização de pastas cerâmicas apresentam um oco ou cavidade interna

que se deve fundamentalmente a quatro

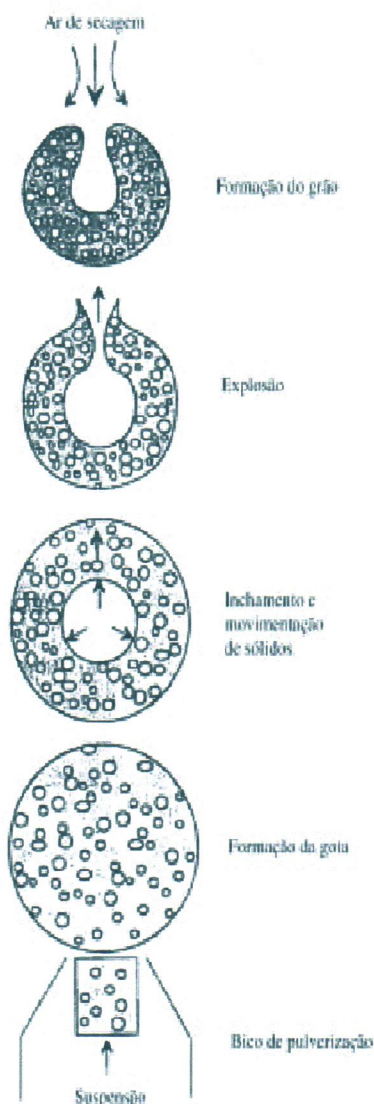


Figura 2. Representação esquemática da evolução da atomização de um grão cerâmico.

mecanismos⁸: **a)** A formação de um filme elástico de baixa permeabilidade ao redor das partículas pulverizadas, que reduz a velocidade de evaporação e origina um aumento da temperatura no interior das partículas atomizadas, provocando o seu “inchamento”; **b)** Presença de sais solúveis, que precipitam à superfície dos grãos após fluência para a periferia das partículas seguida de evaporação da água; **c)** Migração do líquido contendo sólidos insolúveis (caso típico das suspensões argilosas) para a superfície dos grãos atomizados sob ação da capilaridade, com arrastamento das partículas sólidas. A posterior evaporação origina uma porosidade interna no granulado; **d)** Ar retido na barbotina, **Figura 2** ilustra precisamente a evolução da atomização de um grão cerâmico: **1** - formação da gota logo à saída do bico de pulverização; **2** - evaporação do líquido e inchamento (formação de um “balão” interno), nesta fase existe ainda movimentação das partículas sólidas, **3** - explosão provocada pela elevada pressão interna da fase vapor e **4** - formação da partícula sólida⁹.

8. Silos.

Nos processos de fabricação de revestimentos, fritas e pigmentos cerâmicos são manejadas grandes quantidades de materiais na forma de pó de diferentes naturezas, que devem ser armazenados e descarregados de forma conveniente, igualmente como na

produção do cimento, em nossa visita pudemos constatar que o armazenamento também é feito em grandes “containers” chamados igualmente de SILOS DE ARMAZENAMENTO; segundo breve pesquisa identificamos uma

preocupação mutua nas diversas fabricas deste seguimento, relacionada a descarga e fluxo do material armazenado, durante a descarga destes materiais podem ocorrer interrupções de fluxo devido à formação de grumos nos silos, segregações do material devido ao seu tamanho, etc..., Ou seja, o comportamento reológico dos materiais na forma de pó é tão complexo que não pode ser tratado como o dos líquidos ou suspensões, nem como o dos sólidos. Isto faz com que ocorram, freqüentemente, problemas em seu manejo: segregações, interrupções no fluxo durante a descarga dos materiais dos silos, descarga descontrolada de sólidos, etc., que podem afetar negativamente o processo produtivo. Este problema pode ser minimizado se a descarga dos materiais nos silos de armazenamento é feita de forma adequada. A descarga do material na

forma de pó pode se dar de duas maneiras: tubular ou mássica. A existência de um tipo de fluxo ou outro dependerá da natureza do material na forma de pó, bem como do recipiente que o contém. Como consequência, para desenhar um silo com um determinado tipo de fluxo hão de ser consideradas conjuntamente as características do material e as do próprio silo; Mais ainda estes problemas podem ser minimizados ou até eliminados a partir de um desenho adequado do silo. Vejamos de forma breve como funcionam estes dois tipos de fluxo aqui apresentados:



8.1. Tipos de Fluxo.

8.1.1 Fluxo tubular:

O fluxo tubular consiste na formação de um canal de fluxo, alinhado com a boca de saída do silo, rodeado por uma zona na qual o material permanece inicialmente estático (**Figura 1**). Durante a descarga

do silo, se o material é pouco coeso, a parte mais alta, em contato com as paredes, vai desmoronando, alimentando o canal central. Se o material é muito coeso, o esvaziamento do silo pode chegar a ser interrompido,

com a formação de um canal central vazio, cercado por material estático.

Na descarga de um silo pelo mecanismo de fluxo tubular o material não se move todo de uma vez, o que faz com que a quantidade de material na saída e a densidade aparente do fluxo de material resultante vão se modificando durante o transcurso da operação. Inclusive, quando o silo se encontra praticamente vazio, existe em seu interior material que ainda permanece na posição inicial. Estes materiais, acumulados nas zonas mortas do silo, não só diminui sua capacidade efetiva como pode inclusive se converter em

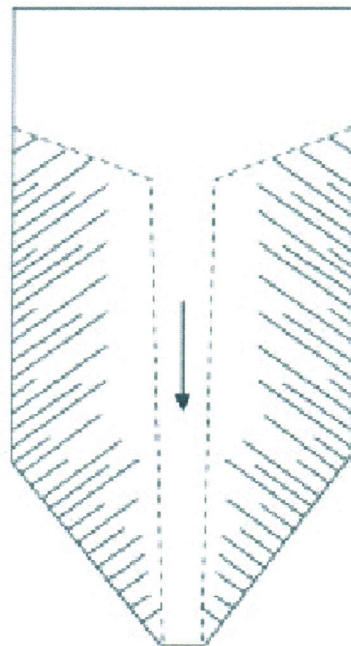


Figura 1. Fluxo tubular.

Este tipo de fluxo é caracterizado pelo fato de todo o material se mover conjuntamente durante a operação de

material imprestável se alterar suas propriedades com o decorrer do tempo (por secagem, oxidação, etc.). Além disto, este tipo de fluxo acentua os efeitos negativos derivados da falta de homogeneidade do material armazenado, devido à segregação por tamanhos que pode ocorrer durante o preenchimento.

Uma das poucas vantagens deste tipo de fluxo é o menor desgaste que sofrem as paredes do silo, já que o atrito entre a parede e o pó durante o descarregamento é desprezível. Ainda, as pressões a que as paredes deste tipo de silo são submetidas são menores, necessitando, portanto, de uma quantidade menor de material para sua construção.

8.1.2 Fluxo mássico:

descarga. Particularmente, o material em contato com as paredes desliza sobre estas, fluindo junto com o resto. Desde o início da descarga nenhuma partícula ou aglomerado permanece em sua posição original, todas se movendo, impedindo a formação de zonas mortas.

O material que entra primeiro é o primeiro a sair (**first in – first out**), o que tende a manter constante o tempo

de residência ou permanência do material no silo em um processo contínuo. A descarga de um silo por fluxo mássico não é interrompida pela formação de canais, uma vez que todo o material se move de uma vez. Além disto, as tensões que aparecem durante a descarga do silo são previsíveis, o que faz com que possa ser desenhado para que não se formem arcos que interrompam o fluxo. A quantidade (vazão) da descarga e a densidade do fluxo de material durante o esvaziamento são menos variáveis que no caso do fluxo tubular. Outra vantagem não menos importante deste tipo de fluxo é a redução ou eliminação dos problemas associados à segregação que podem ocorrer durante o carregamento. O fato de todo material se mover de uma vez provoca uma certa mistura que tende a aumentar a homogeneidade da massa na saída. De

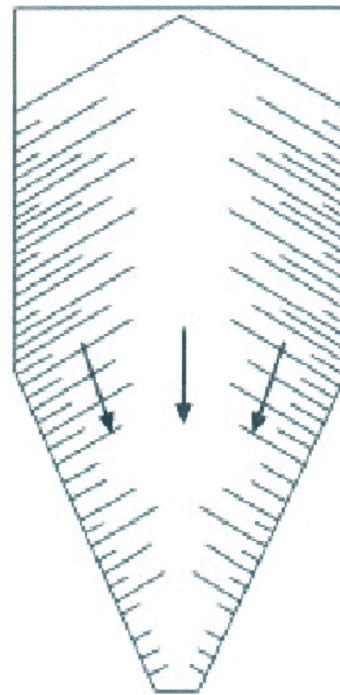


Figura 2. Fluxo mássico. fato, em certas ocasiões, os silos de fluxo mássico são aconselhados para a mistura de sólidos.

Tabela I. Comparação entre fluxo mássico e fluxo tubular. Vantagens.

Fluxo mássico	Fluxo tubular
<ul style="list-style-type: none"> • elimina a possibilidade de obstruções do fluxo • minimiza os efeitos associados à segregação por tamanhos • renovação do material (não existem zonas mortas) • o fluxo é uniforme e fácil de controlar • a densidade do fluxo durante a descarga é praticamente constante • toda a capacidade de armazenamento é aproveitada 	<ul style="list-style-type: none"> • para uma mesma capacidade, a altura necessária é menor • as pressões aplicadas às paredes são menores • a abrasão sobre as paredes é menor

9. Prensagem.

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. A operação compreende três etapas ou fases: (1) preenchimento da cavidade do molde, (2) compactação da massa e (3) extração da peça; Este procedimento é fundamental no processo produtivo dos revestimentos cerâmicos, o mesmo é o processo de conformação mais utilizado pelas indústrias cerâmicas e aqui aplicado na indústria visitada, SAMARSA, devido à sua elevada produtividade, facilidade de automação e capacidade de produzir peças de tamanhos e formas variadas, sem contração de secagem e com baixa tolerância dimensional; Diversos são as variáveis a serem levadas em consideração nesta fase do processo tais como: características do aglomerado; influencia dos aditivos; compacidade do grânulo; tamanho médio e distribuição de tamanhos; estrutura dos aglomerados.

Distinguem-se duas grandes modalidades de prensagem: a prensagem uniaxial e a prensagem isostática. Na primeira, a compactação do pó se realiza em uma matriz rígida,

por aplicação de pressão na direção axial, através de punções rígidos. É utilizada para conformar peças que não apresentam relevo superficial na direção de prensagem. No processo objeto do estudo em questão a espessura que se deseja é pequena e sua geometria é simples, a carga pode ser aplicada em apenas um sentido (**ação simples**) (Figura 1).

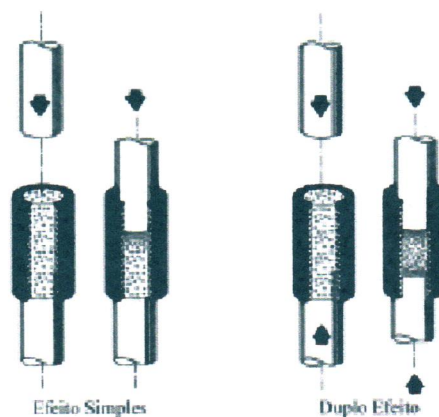
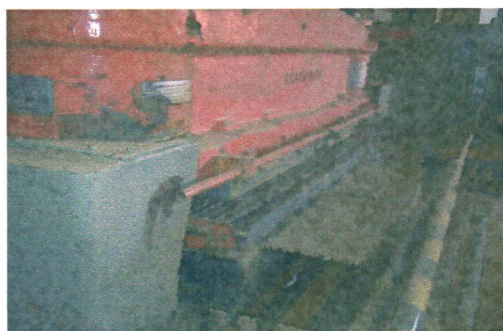


Figura 1. Prensagem Uniaxial.



9.1 Objetivos da operação:

Os objetivos da operação de prensagem, de forma idêntica a qualquer operação de conformação, como colagem ou extrusão, são: obter peças uniformes, de acordo com as dimensões e a geometria pré-estabelecidas, bem como contribuir na obtenção de uma microestrutura adequada às características finais desejadas.

Quando o volume do material granulado contido no interior de uma matriz é submetido a uma tensão de compressão suficientemente elevada podem se dar os seguintes processos, fenômenos ou trocas: Uma consolidação permanente do material, ou seja, um aumento na compactação do corpo, que persiste depois de retirada a carga; Uma compressão elástica das partículas, ligantes e lubrificantes líquidos, bem como do gás presente no corpo; Um fluxo de líquidos e gases através dos poros do corpo por fluxo viscoso; Finalmente, se a prensagem é uniaxial, a fricção entre as partículas e entre estas e as paredes do molde provoca uma distribuição heterogênea da pressão de compactação no volume do material. Tanto a seleção e dosagem das matérias-primas a serem

empregadas como as condições de operação envolvidas em todas as etapas do processo de fabricação devem ser consideradas como uma seqüência de etapas integradas, que deliberadamente e de forma sistemática transformam uma determinada formulação em um produto acabado, passando por diversos produtos intermediários. De acordo com este conceito de processo global, cada uma das etapas, e no nosso caso a prensagem, não pode ser tratada de maneira isolada, uma vez que sua realização e as características microestruturais da peça a verde resultante dependem das características microestruturais das matérias-primas, bem como das etapas do processo produtivo que precedem a operação de prensagem.

Sendo assim, a técnica de preparação empregada na obtenção da massa (granulação ou atomização) irá influenciar as características da massa resultante, como sua distribuição de tamanho de partículas, a forma e textura dos grânulos (atomização) ou aglomerados (granulação), que por sua vez irão influenciar a etapa de prensagem e as características microestruturais da peça a verde obtida.

Por sua vez, as características microestruturais da peça a verde não só determinam suas propriedades mecânicas, mas também exercem influência nas etapas posteriores do processamento. Como consequência, as variáveis de operação envolvidas na etapa de prensagem deverão ser determinadas tendo em vista uma ordenação espacial das partículas (compactação), que assegure à peça conformada uma microestrutura que reúna os seguintes elementos: Proporcione à peça a verde e após secagem uma resistência mecânica suficiente para suportar as diversas solicitações ao longo do processo

produtivo (secagem, decoração, transporte, armazenagem e queima); Confira a peça uma permeabilidade suficiente; Permita que o produto final apresente as características microestruturais desejadas (porosidade, distribuição de tamanho de poros, tamanho de grão, etc...).



10. Secagem.

A secagem é uma etapa bastante delicada e complexa no processo de fabricação de cerâmica vermelha. É comum nesta etapa ocorrerem defeitos de secagem nas peças e que são perceptíveis somente após queima. A compreensão dos mecanismos envolvidos na secagem permite, por exemplo, uma melhor compreensão dos defeitos e da forma de como evitá-los.

O objetivo da secagem é o de eliminar a água, utilizada na etapa de conformação, necessária para a obtenção de uma massa plástica. A

eliminação de água ocorre por evaporação através do aporte de calor, efetuado mediante uma corrente de ar^{4,10}.

Sabe-se que quando se mistura uma argila com certa quantidade de água, obtém-se uma massa coesiva que pode ser moldada com facilidade. Esta propriedade é característica dos minerais argilosos e denomina-se plasticidade^{10,11}. Por sua vez, esta água, denominada de água de conformação,

pode ser dividida em dois tipos: o primeiro tipo é denominado de água intersticial.

O segundo tipo é denominado de água livre ou água de plasticidade^{4,10,12}. A água intersticial está relacionada com a água necessária para preencher os poros das partículas. Já a água de plasticidade localiza-se entre as partículas argilosas, separando-as e facilitando a trabalhabilidade no processo de conformação. É este último tipo de água que é responsável pela retração das peças. A retração que as peças de cerâmica vermelha sofrem durante a etapa de secagem é um parâmetro de grande importância tecnológica. Durante a secagem são

geradas tensões que podem levar ao aparecimento de defeitos que comprometem a qualidade das peças. A evolução da retração linear de secagem em função da perda de água de conformação é representada através da chamada curva de **Bigot**^{4,10,13}. Assim, a curva de **Bigot** é uma representação gráfica da percentagem de água de conformação em função da retração de secagem.



11. Lixamento / Escovação / Soprador / Engobe.

Passada a etapa de secagem das placas cerâmicas, as mesmas agora se encaminham a uma série de procedimentos rápidos feitos em sequência antes de serem introduzidos no forno para a

queima; procedimentos estes que dão início ao processo de preparação da superfície a fim de torná-la preparar a para receber o acabamento final.

11.1 Lixamento:

Esta etapa consiste simplesmente em submeter a peça a uma passagem breve por lixas de granulometria baixa, ou seja, lixas

de abrasividade alta a fim de conceder a face da placa de revestimento uma superfície mais uniforme, retirando algumas

possíveis imperfeições que possam

haver sobre a face.

11.2 Escovação/Soprador:

Logo após o processo de lixamento, passamos então a fase da escovação, outro processo que se executa de forma muito rápida com o determinado fim de melhorar o acabamento da superfície da peça logo após ela ter passado pelas lixas.



Proveniente deste tratamento de superfície então, materiais de fina espessura e granulometria, removidos da superfície da peça durante estes processos de tratamento da superfície da

placa cerâmica, se depositam sobre a mesma, havendo então a necessidade de que as mesmas sejam retiradas de alguma forma dentro do processo para a continuidade do mesmo. Um equipamento de grande simplicidade é adicionado nesta fase da produção, o mesmo é denominado soprador, que tem a simples função de remover estes vestígios dos processos de lixamento e escovação da placa cerâmica.



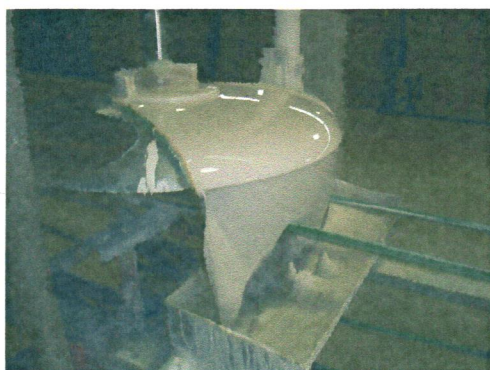
11.3 Engobe:

Sobre este item em questão é conveniente salientar algumas importâncias e características que o mesmo soma ao processo de fabricação dos revestimentos cerâmicos, principalmente os que utilizam biqueima, procedimento que não é o utilizado pela SAMARSA onde a

mesma se utiliza o processo de monoqueima.

Os engobes são de grande importância para indústria cerâmica. Não somente sob o ponto de vista tecnológico, mas também comercial, pois as indústrias cerâmicas consomem volumes consideráveis de engobes.

Formalmente engobe é considerado por vários autores, como um tipo comercial de esmalte, que é aplicado à base cerâmica (crua ou queimada), antes que esta receba as coberturas finais dos esmaltes de interesse^{14,15}.



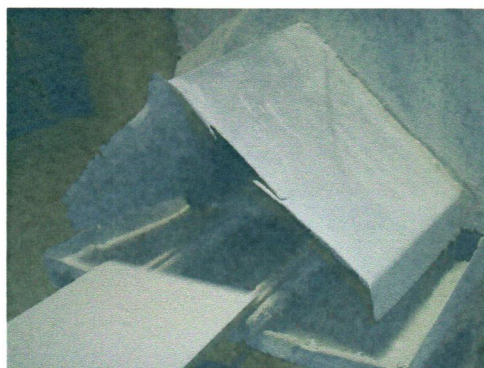
Por outro lado, em uma linguagem mais técnica, a principal diferença entre um engobe e um esmalte é a quantidade de fase líquida formada durante a queima. Os engobes apresentam um nível de vitrificação consideravelmente inferior ao dos esmaltes. De uma maneira genérica, pode-se dizer que os principais objetivos de se utilizar um engobe são: esconder a cor do corpo cerâmico; eliminar imperfeições da superfície da peça, aumentando a homogeneidade da mesma para receber o esmalte; impedir que ocorram, interações indesejadas entre o esmalte e a base; proporcionar um efeito estético de maior alcance; impermeabilizar a peça após a queima.

A homogeneização da superfície da base pelo engobe, para uma boa aplicação do esmalte, é imprescindível. Com o natural avanço tecnológico, o engobe deixou de ser apenas uma mistura de matérias primas baratas, para esconder a cor do corpo cerâmico e passou a ser um material que confere vantagens técnicas importantes, tais como, por exemplo, a impermeabilização do produto além de realçar as cores e as características da cobertura final. Uma das principais características de um engobe é a sua distribuição granulométrica, pois dela dependem a eficiência e homogeneidade da cobertura. Um outro aspecto relevante dos engobes é o elevado teor de material plástico presente nas formulações. A plasticidade do material argiloso é importante para que se forme uma camada fina com umidade adequada. Esta camada além de ser capaz de ceder, lenta e uniformemente, parte desta umidade para a base, ao mesmo tempo deve estar apta a absorver a umidade proveniente do esmalte depositado sobre ela. Esta troca de umidade deve ser homogênea em toda superfície da peça.

11.4 Esmalte:

A aplicação de esmalte é a última etapa da preparação da superfície das placas cerâmicas antes das mesmas serem introduzidas no processo de queima; Na produção de pavimentos e revestimentos cerâmicos é cada vez mais usual a prática de decorações utilizando a deposição de uma considerável camada de esmalte. Tal camada pode ser necessária para o recobrimento geral da peça como um todo ou, em outras ocasiões, para cobrir zonas bem delineadas e definidas das peças (mosaicos, alto relevos etc.). Para fins de conhecimento, vale salientar duas técnicas que foram detectadas nesta pesquisa realizada para o desenvolvimento deste relatório, sendo elas as de aplicação de esmalte por “cortina” (campana ou vela), onde o desenvolvimento de tal técnica não permite o recobrimento seletivo de zonas da peça e, com isto; para a decoração de peças como as mencionadas é criada uma barreira ou limitação tanto técnica como estética para o desenvolvimento de novos produtos cerâmicos; e a técnica de decoração por incavografia (Rotocolor) permite tal aplicação, quer seja de superfícies completas quer seja de zonas extremamente diferenciadas. Para o

correto desenvolvimento de tal aplicação, é necessário conhecer as variáveis que influenciam o processo desde o ponto de vista dos materiais empregados (esmaltes e aditivos) bem como dos equipamentos utilizados (máquinas de decoração).



Já se estudaram esmaltes de diferentes naturezas e diferentes tipos de aditivos, com o fim de definir as melhores condições de trabalho que permitam desenvolver a aplicação desejada e conseguir a ausência de problemas associados. Com a finalidade de validar os resultados, foram realizados ensaios em escala industrial e as análises conseguintes dos mesmos, obtendo finalmente diferentes tipos de peças cerâmicas com decorações diversas.

No início do século as fritas e os esmaltes eram preparados, na Espanha, pelos usuários finais, nos anos 40 a situação mudou substancialmente. Em 1946 haviam companhias especializadas

que fabricavam 35% do total da produção de 3.700 t/ano. Esta tendência aumentou e teve como resultado o nascimento de um poderoso setor industrial que em 1969 produziu mais de 45.000 t de esmaltes, ainda que algumas fábricas de revestimentos

porosos produzissem suas próprias fritas e esmaltes. Hoje em dia todas as fritas são fabricadas em empresas especializadas e somente poucas fábricas produzem seus próprios esmaltes utilizando fritas e pigmentos pré-fabricados.

12. Queima.

A próxima etapa de nossa visita passaria então agora pelo processo de queima do material, nesta fase muitas transformações importantes acontecem na peça produzida, esta fase então se torna a etapa final de processo produtivo dentro do ciclo de fabricação de peças cerâmicas.

Dentre as etapas do processo de produção de peças cerâmicas na Indústria de Cerâmica Vermelha, destaca-se a queima, onde são criadas condições para que ocorram transformações estruturais (físicas e químicas) na matéria-prima utilizada, tais como perda de água adsorvida, desidroxilação e formação de novas fases cristalinas. Essas transformações conferem propriedades tecnológicas finais desejáveis às peças cerâmicas e determinam o ciclo de queima que deve ser gradativo: inicia-se a uma determinada temperatura que vai se

elevando até um grau considerado ideal, o patamar de queima, que se torna peça chave na obtenção de determinadas propriedades finais como propriedades mecânicas, porosidade e cor da peça. O processo de queima na indústria cerâmica corresponde a uma das etapas de maior importância tanto para qualidade das peças, quanto para determinação do custo final do produto manufaturado.

Na indústria de revestimento de um modo geral esse controle já é bem definido, pois a qualidade das peças é basicamente função da matéria-prima utilizada e da temperatura de queima, que são dependentes dos tempos e temperaturas necessários para que as peças alcancem determinadas propriedades.

A Indústria de Cerâmica Vermelha, principalmente a que fabrica tijolos e telhas, trabalha com fornos de modelos

e tamanhos variados, mesmo dentro de uma determinada categoria. Apesar de obedecerem via de regra o mesmo princípio de funcionamento, muitas vezes os fornos variam de uma indústria para outra nas dimensões, no tipo de queimador, no isolamento térmico, de combustível empregado etc. Como exposto de forma sucinta anteriormente a queima na indústria de Cerâmica Vermelha é um caso a ser tratado particularmente pelos ceramistas ou seus consultores. Nesse sentido, este relatório procura contribuir para um melhor entendimento do que se trata tal processo e qual sua importância dentro do ciclo produtivo das peças cerâmicas.



Um processo de **combustão*** acontece então dentro do forno para que haja a queima. Já que se falando de fornos para queima, devemos conhecer as zonas de um forno e suas funções:

Pré-Forno: Eliminação da umidade superficial (150 °C);

Aspiração Principal: eliminação dos gases originados da combustão e reações do material (500 °C);

Pré-Aquecimento: preparação do revestimento para a queima, eliminando material orgânico, água de constituição, carbonatos e oxidação dos compostos de ferro (500 °C – 1020 °C);

Pré-Queima: Amolecimento dos esmaltes e formação dos aluminossilicatos e silicatos da massa (1020° -1100 °C);

Queima: Sinterização da massa e estiramento do esmalte (1100 °C – 1200 °C);

Resfriamento Rápido: Resfriamento brusco do material (1180 °C – 620 °C);

Resfriamento Indireto: Troca suave de calor, é responsável pela transição do quartzo para , à 573 °C (600 °C – 500 °C);

Resfriamento Final: Leva o material para mais próximo possível da temperatura ambiente (500 °C – 100 °C). Os parâmetros que podem provocar alteração na cor, e que por consequência exigem monitoramento durante a queima de revestimentos cerâmicos são: (Temperatura, Ciclo, Pressão, Atmosfera, Resfriamento).

Temperatura: Como estamos falando especificamente de um

*. É uma reação química de oxidação entre combustível e comburente, sendo sempre exotérmica.

tratamento térmico (**queima**), a temperatura é responsável por quase toda a gama de problemas de tonalidade enfrentados durante esta fase do processo. A variação da temperatura sempre ocasionará oscilações nas cores (embora nem todas sejam perceptíveis ou influenciem na tonalidade do produto acabado), principalmente em regimes de monoqueima, onde a cor do biscoito sofrerá abruptas variações na coloração quando queimado com temperaturas distintas. Todos os componentes (óxidos) do vidrado possuem, de acordo com sua quantidade, uma considerável influência sobre a possível coloração, de modo que há diversos corantes que somente podem atuar plenamente em composições específicas de vidrado, ou que somente podem ser queimados até determinadas temperaturas. Há poucos corantes que são estáveis em todos os intervalos de temperatura de queima. Como exemplo desta afirmativa, podemos citar: Azul de cobalto e o verde de cromo são bastante estáveis em um intervalo muito amplo de temperatura; Corantes derivados de óxidos de antimônio ou óxido de cobre podem desaparecer em temperaturas demasiado altas. Ainda podemos citar os esmaltes coloridos de chumbo com óxido de urânio ou cromo, bem como

vidrados mates de bário com níquel, que sofrem grandes alterações na cor, devido à temperaturas muito elevadas na queima. É importante também citar que nem todas as variações na tonalidade são derivadas da cor; o brilho e a textura dos revestimentos cerâmicos também criam lotes diferenciados na classificação destes, e estes sofrem influência direta da temperatura de queima. Genericamente, podemos afirmar que, à medida em que a temperatura eleva-se, os esmaltes cristalinos e brancos de zircônio ficam mais brilhantes e com melhor estiramento. Já os esmaltes mates, principalmente os de zinco e cálcio (mais comuns) sofrem maior influência na textura, ficando mais “sedosos” na medida em que a temperatura aumenta.

Ciclo de Queima: É, sem dúvida, juntamente com a temperatura, o fator que mais influencia na tonalidade durante a queima. Também comumente chamado como “**Tempo de Queima**”, podemos defini-lo como o tempo necessário para que o revestimento cerâmico percorra toda a extensão do forno. Este tempo deve ser longo o suficiente para que todas as reações previstas no tratamento térmico sejam processadas. Quando o ciclo de queima for menor que o necessário, podemos ter os seguintes problemas com relação

à tonalidade: Diferença na cor do biscoito (e em alguns casos até de tamanho) entre as peças da lateral do forno (mais fria) e às do centro (mais quente), pelo arrasto dinâmico da temperatura; Reações incompletas nos vidrados, tintas e corantes que, pelo gradiente de temperatura, podem alterar a cor, a textura e o brilho da superfície dos revestimentos cerâmicos, principalmente nos vidrados mates ou brancos de zircônio.

Pressão: A pressão interna do forno durante a queima é importante sob diversos aspectos. Com relação à tonalidade, sua influência manifesta-se na homogeneidade dos parâmetros de temperatura e atmosfera do forno. Em um planejamento normal de queima, deveremos ter as seguintes condições de pressão do forno: Pré-aquecimento: Câmara em depressão; Pré-queima: “Ponto Zero” de pressão sobre o plano dos rolos; Queima: Pressão de 0,2 a 0,3 mm CA sobre o plano dos rolos; Resfriamento Rápido: 0,1 a 0,3 mm CA.

Atmosfera: A atmosfera que cerca os revestimentos cerâmicos durante sua queima, dependendo da composição do esmalte, pode ter influência decisiva em sua coloração. São composições que até podem ser queimadas com oxidação, porém somente obtém suas peculiaridades típicas ou sua plena

beleza de cor e superfície em atmosfera redutora. Assim, podemos citar como exemplos: Todos os vidrados reativos e coloridos para obtenção da cor verde através de óxido de ferro; Numerosos vidrados transparentes (principalmente os de feldspato – CaO) e todos os esmaltes mates, apresentam os melhores resultados quando queimados nesta condição; Os vidrados lustres, quando busca-se sua iridescência. Desta forma, o normal é que tenhamos os fornos com a seguinte regulação atmosférica: Até a zona de pré-queima, fortemente oxidante; Pré-queima e queima, levemente redutora.

Resfriamento: Apesar de ser uma etapa já posterior à queima, também o resfriamento pode influenciar sobre a tonalidade dos revestimentos cerâmicos. Se o mesmo não for processado de forma brusca (resfriamento rápido), com injeção de ar frio, há o risco da reoxidação do esmalte, anulando os efeitos da queima redutora. É comum observarmos que esmaltes transparentes, ricos em zinco, podem tornar-se leitosos (opacos), com resfriamento muito lento. Também o brilho é influenciado pela velocidade do resfriamento, motivo pelo qual os vidrados mates requerem especial atenção nesta etapa do processo.

13. Seleção / Expedição.



Logo após sua saída do forno a peça passa imediatamente por um processo de seleção simples, uma seleção visual; as peças então são classificadas por “tipos”, ou seja, peças sem “nenhuma” imperfeição que possa ser visualmente detectada são classificadas como letra ‘A’, aquelas que apresentam variações em sua superfície são na oportunidade classificadas com a letra ‘B’, e por conseguinte as peças que apresentam variações nas tonalidades de cores e



outras imperfeições mais severas, o que acontece em um percentual muito baixo devido a todo controle que fora citado, e que é aplicado em todas as fases da

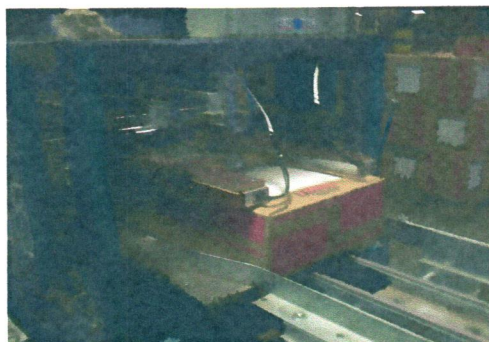
linha de produção, são classificados com as letras ‘C’ e ‘D’ respectivamente.

As peças saem do forno por uma longa esteira composta de diversos rolos até o campo onde se é possível a visualização por completo de toda superfície; este processo exige muito dos profissionais que ali se encontram a fim de executar tal tarefa, a detecção destas imperfeições estaria sujeita a falhas se os mesmos não apresentassem boa percepção dos defeitos que podem estar relacionados a peça no fim do processo, vale aqui salientar novamente que esta detecção é de difícil percepção perante olhos que não estejam treinados para tal, mas a mesma recebe a contribuição de todas fases pelas quais a peça fora submetida e aos controles realizados na fabricação da mesma.



As peças então entrariam na fase de expedição, onde os seguintes passos são realizados: Empacotamento, transporte, e expedição. As placas são empacotadas em um processo semi-automático, pois um operador precisa abastecer o processo com as caixas destinadas a alojar as peças prontas, caixas comuns são destinadas a esta função, as mesmas

são fabricadas de “papelão” como são usualmente conhecidas.



Considerações finais

A turma de Engenharia de Produção da FANESE (Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe) deseja expressar seus agradecimentos ao Prof. Herbet Alves por seus diversos esforços com o objetivo de trazer para o mais perto possível de distintos ambientes de produção aqueles que não vivem este contato no seu dia-a-dia, e para aqueles que vivem este contato, dar a oportunidade de obter novos conhecimentos em áreas a fins de suas áreas de atuação, com as visitas realizadas durante o 4º (quarto) período do curso de graduação aqui citado.



Referências:

1. Bender, W. Large-scale mixing according to the mixing bed technique in clay storage sheds. *Ziegelindustrie International*, v. 7-8, p. 399-409, 1989.
2. Velde, B. *Origin and Mineralogy of Clays: Clays and the Environment*. New York: Springer, 1995.
3. Fernández, M. A. Fabrication y control de calidad de los materiales de arcilla cocida. In: *SEMINÁRIO INTERNACIONAL*, v.1, Medellín, 1990.
4. Barba, A.; Beltran, V.; Feliu, C.; Garcia, J.; Gines, F.; Sanchez, E.; Sanz, V. – *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas* – Instituto de Tecnología Cerámica. AICE 1ª ed. Castellón-Espanha, p. 239-255, 1997.
5. Cava, S.; Longo, E.; Paskocimas, C.A.; Varela, J.A.; Tasca, A.; Mendonça, T. Herter, C.G.; Barbosa Jr., J.C. – “Influência da cinética de oxidação no controle da atmosfera de fornos de revestimentos cerâmicos” – *Cerâmica*, 46 (298), p. 56, 2000.
6. Amorós Albaro J.L. *Pastas cerâmicas para pavimentos por monococción. Influencia de las variables de prensado sobre las propiedades de la pieza en crudo y sobre su comportamiento durante el prensado y la cocción*. Tesis doctoral. Valencia, 1987.
7. Duffie J.A., Marshall JR. W.R. Factors Influencing the Properties of Spray-Dried Materials. *Chem. Eng. Progress*, Sept. 480-486, 1953.
8. Amorós, J.L. y otros. *Defectos de Fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerâmicos*. 1991.
9. Oliver R, Sherrington P.J. *Granulation* Ed. Heuden and Son Limited, 1981.
10. Abajo, M.F. *Manual sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos*, Beralmar S. A., Terrassa, 2000, p.193-266.
11. Amarante Jr., A.; Boutros, F.A. Estudo Comparativo dos Métodos do Plasticímetro de Linseis e o Índice de Atterberg na Determinação da Plasticidade de Algumas Argilas do Estado de São Paulo. *Cerâmica*. v. 27, n.135, p. 117-121, 1981.
12. Beltran, V.; Ferrando, E.; García, J.; Sánchez, E. Extruded Rustic Floor Tile I. Impact of the Composition on the Body's Behaviour in the Prefiring Process Stages, *Tile & Brick Int.* v. 11, n. 3, p. 169-176, 1995.
13. Oller, S. Normas e Princípios de Extrusão de argila e Comportamento na Secagem, *Cerâmica*. v. 27, n. 140, p. 319-329, 1981.
14. Pérez, E.A.; *Apuntes de Esmaltes Y Colores Cerâmicos; Generalitat Valenciana*.
15. Tozzi, N.; Smalti Ceramici; Gruppo, Editora le Faenza editrie s.p.a.; 1992.