

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO - ENGENHARIA DE MATERIAIS

"RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO"

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

ESTAGIÁRIO: VITÓRIO DONATO

ORIENTADOR: JOÃO BATISTA BAUNGARTNER

RELATÓRIO: 01

PERÍODO : 03.06.86 à 03.08.86

CARGA HORÁRIA: 320 HORAS

COMISSÃO:

Ligia Maria Campos Assunção nota 9,0 (nove)  
Aluísio Fátima nota (9,0) nove  
Maria do Socorro de Saavedra nota 9,0 (nove)

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - AGOSTO/1986

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO - ENGENHARIA DE MATERIAIS

"ACORDO MASSA-ESMALTE. PRODUÇÃO DE PEÇA CERÂMICA  
PARA O TESTE DE ESCORRIMENTO DO ESMALTE".

VITÓRIO DONATO

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

AGOSTO/1986



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

MARIA DO SOCORRO LACERDA (M.Sc)

Professora da UFPb

JOÃO BATISTA BAUNGARTNER (M.Sc)

Professor da UFPb

LÍGIA MARIA CAMPOS ASSUNÇÃO (M.Sc)

Professora da UFPb

LUIZ RENATO

Professor da UFPb

RÔMULO FEITOSA NAVARRO

Professor da UFPb

## Í N D I C E

I.	INTRODUÇÃO	01
II.	ESCOLHA DO MODELO DE PEÇA CERÂMICA PARA SER USADA NO TESTE DE ESCORRIMENTO DO ESMALTE.	09
III.	CONFECÇÃO DO PRÉ-MOLDE	11
	3.1. Introdução	11
	3.2. Matéria Prima	11
	3.3. Método	14
	3.4. Procedimento e Resultados	18
IV.	PREPARAÇÃO DA MASSA COLAGEM	19
	4.1. Introdução	19
	4.2. Matéria Prima e Composição da Massa	24
	4.3. Método de Preparação da Massa	25
V.	CONFORMAÇÃO POR COLAGEM	27
	5.1. Introdução	27
	5.2. Defeitos na Colagem	29
	5.3. Acabamento da Peça	30
VI.	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

## I. I N T R O D U Ç Ã O

A gretagem é um dos defeitos que ocorre com maior frequência na Indústria Cerâmica. O lascamento, embora, ocorra com intensidade muito menor, é um problema ligado ao mesmo fenômeno, porém de forma inversa.

A matéria, se dilata quando aquecida. Se o tratamento térmico não causa modificação permanente, a matéria retorna ao seu volume original, quando resfriada. Assim, a dilatação e contração tem igual grandeza. A dilatação de diferentes materiais varia fortemente, vidros de sílica por exemplo, raramente mostram dilatação, ao passo que o cobre dilata muito quando aquecido. A fim de comparar a dilatação dos diferentes materiais, nós medimos os seus coeficientes de dilatação. Os objetos não se dilatam somente no sentido de comprimento, mas em todas as direções. Deste modo, a dilatação térmica é geralmente expressa como uma unidade cúbica, e o coeficiente de dilatação cúbica é aproximadamente três vezes o coeficiente de dilatação linear.

### A MASSA CERÂMICA

A louça cerâmica tem uma dilatação (cúbica) que, dependendo de sua composição situa-se entre  $130$  e  $230 \times 10^{-7}$ . Para porcelana, o coeficiente de dilatação cúbica é de  $90$  a  $150 \times 10^{-7}$ .

As massas de "pó de pedra" ou cerâmica branca", compõem-se geralmente de uma ou duas argilas, caulim e quartzo, acrescidas de calcita, dolomita, feldspato ou materiais feldspáticos. Os componentes, suas porcentagens e seus tamanhos de partículas variam de fábrica p/ fábrica. Diferenças existe entre os métodos de preparação da massa e também entre o tempo e a temperatura de queima. Tudo isto explica porque a expansão térmica dos corpos cerâmicos difere tanto.

Dependendo da temperatura e do tempo de queima, os componentes da massa reagem um com o outro e a partir destas reações, novos compostos originam-se.

Os fundentes, ao qual pertencem os compostos de cálcio, magnésio e os feldspatos, tendem a formar a substância vítrea. Essa substância vítrea, preenche os poros e envolve as partículas dos outros materiais refratários, como as argilas, caulim ou quartzo. Age como um solvente sobre a superfície destas partículas e dessa maneira, a composição deste vidro muda continuamente. Se o vidro absorve em excesso um material, ele pode cristalizar-se e a composição destes cristais, poderá ser diferente dos componentes originais.

Quartzo, a principal forma cristalina da sílica, em temperaturas relativamente altas reage rapidamente com muitas formas de outros materiais, tal como ocorre com os produtos de decomposição de calcita e dolomita. Os novos produtos formados denominam-se silicatos.

Sílica e óxido de cálcio formam o silicato de cálcio (wollastonitas) e se também estiver presente a alumina, um silicato de cálcio e alumina (anortita) pode ser formado.

(anortita pertence ao grupo dos feldspatos).

Sílica e óxido de magnésio formam um silicato de magnésio (clinoenstatita). Se também a alumina estiver presente, outro silicato (corderita) pode ser formado.

O feldspato potássico pode decompor-se a altas temperaturas, e formar leucita e vidro de sílica.

A sílica, originária da decomposição de compostos químicos a temperaturas baixas, é de tamanho molecular, e deste modo, facilmente forma novas combinações.

Dependem destas reações a expansão térmica e outras propriedades dos corpos cerâmicos.

Em geral, pode-se dizer que a expansão térmica do vidro e dos silicatos é baixa em comparação com o quartzo e outras formas cristalinas da sílica. Assim quanto menor for a quantidade de sílica livre na massa, menor será a expansão térmica, também quanto menor for o tamanho da partícula do quartzo, maior será sua influência.

#### O VIDRADO

O vidro, assim como os vidrados, são frequentemente chamados de "soluções super-resfriadas". Quando aquecidos ou resfriados seu comportamento é diferente dos sólidos comuns. Em geral esses últimos tem uma estrutura interna regular e uma forma externa definida, isto é, são cristalinas.

Até alcançar a temperatura dita "ponto de fusão", o volume de matéria cristalina se altera sem que no entanto o material mude de estado. Quando alcançado seu ponto de fusão, o sólido começa a se converter numa fase líquida. Ao resfriar ocorre exatamente o inverso na mesma e exata temperatura (1).

Portanto, o ponto de fusão é a temperatura, na qual as duas fases, sólida e líquida estão em equilíbrio.

As matérias vítreas não tem um ponto de fusão definido. Com o aumento de temperatura, o material torna-se gradativamente mais mole. Dentro de uma longa faixa, ele permanece mole e moldável sem tornar-se fluido. Assim, um vidro ou um vidrado não tem ponto de fusão mas uma faixa de fusão.

As composições dos vidrados variam enormemente, assim como as propriedades como: comportamento de queima, dilatação térmica, ponto de amolecimento, propriedades elêtricas, estrutura, etc., portanto geralmente é mais fácil eliminar problemas de gretagem ou lascamento através de mudança do vidrado. (1).

Em alguns casos o problema não pode ser resolvido desta forma, então faz-se necessário mudar a composição da massa.

Os vidrados são usados industrialmente para temperaturas relativamente baixas, consistem em uma ou mais fritas, as quais em conjunto com alguma argila ou caulim, são moídas. Esta mistura, suspensa em água é aplicada ao corpo cerâmico. No instante de aplicação o corpo cerâmico poroso, absorve a água, ficando depositada sobre a peça uma fina película que tem a composição ideal para se formar um vidrado na queima. Essa camada do vidrado consiste de muitas e bem finas partículas, entre as quais existe apenas uma pequena aderência. Este é o motivo porque a despeito de possíveis diferenças na expansão térmica entre o corpo e o vidrado, nenhum problema surge durante o período de aquecimento na queima do vidrado. O vidrado amolece

com o aumento de temperatura e eventualmente funde. Em todas essas condições o vidro acompanha os movimentos da massa sem desenvolver nenhuma força.

As forças desenvolvem-se quando o produto vitrificado inicia o resfriamento e a temperatura na qual isto ocorre pode ser determinada quase precisamente pelos diagramas de fase correspondentes.

No resfriamento o vidro começa a se enrigecer no ponto de amolecimento, conseqüentemente nenhuma força surge antes desta temperatura ser alcançada. A partir do ponto de transformação, (7) o vidro está rígido e a capacidade de suportar tais tensões a partir desse momento, depende somente da elasticidade do vidro.

Se o vidro expandir-se mais que o corpo no aquecimento, significa que se contrairá mais no resfriamento, a camada de vidro ficará sob tração e o substrato cerâmico ficará em compressão. Estas condições geralmente tendem a causar gretagem. Nos poucos casos em que não ocorre gretagem, as forças tanto no vidro como no corpo continuam a existir.

Objetos planos, nos quais somente um lado é vitrificado, como um azulejo, empenará e será côncavo devido a isto. (fig. 1). Se a expansão térmica do vidro é menor que a da massa, o vidro estará em compressão e a massa em tração. Neste caso, ao resfriar-se, a massa se contrairá mais do que o vidro e isto poderá ocasionar um lascamento. Se isso não ocorrer, em objetos planos, vitrificados em uma só face, ele empenará, mas será convexo (fig. 2). Peças como copos, potes ou vasos não empenam tanto quanto os objetos planos. Eles quebram se as

forças forem grandes. As vezes explodem, ficando em muitos pedaços bem pequenos.

Força de tração bem pequenas são suficientes para fazer o vidro gretar, mais ele suporta forças de compressão relativamente altas sem lascar. Naturalmente neste último caso a aderência entre o corpo e o vidro tem que ser boa.

Assim, por medida de segurança, deve-se escolher um vidro com menor dilatação térmica que a massa.

#### MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES

Mesmo sem os usos de equipamento caro, é entretanto, também possível determinar o tipo de esforços que existem, a fim de obter-se um produto perfeito.

O melhor método é o de SCHURECHT- são feitos anéis de massa normal com 5 cm de diâmetro e espessura de 5 a 10 mm.

Os anéis são vidrados na parte externa e queimados. Duas marcas são feitas, as quais, por exemplo, estão distantes 6 mm. Cortam os anéis com uma serra entre as marcas e finalmente mede-se a distância entre os dois pontos.

Se o vidro está em tração, a distância de verá ser menor que a originalmente medida entre as duas marcas, se a abertura aumenta, o vidro está em compressão.

A diferença da medida efetuada para a medida original antes de serrar o anel, mantém uma proporcionalidade com a magnitude das forças atuantes.

Medindo-se os anéis várias vezes depois, o aumento ou diminuição das forças, causado pela expansão por unidade, poderá ser também estabelecida (1).

Um teste bem simples foi descrito por HIND, o teste de impacto. Um punção é colocado sobre o centro da superfície do vidro e batido levemente com um pequeno martelo. Se o vidro está sob tração, várias gretas ocorrem, originalmente no centro. A compressão provoca gretagens ao redor do centro e uma lasca de forma cônica pode sair da camada (1).

Fazemos a observação de que nem todas as gretas são devido às forças entre o vidro e o corpo cerâmico. Na prensagem, modelagem, colagem, podem estar presentes tensões no produto cru. Isto pode ser causado por desigualdade da massa. Pelo formato, por moldes defeituosos, por deformação devido a colagem, etc. Algumas dessas forças não são eliminadas nem no processo de secagem, nem no de queima.

Devido a isto, é errado formar-se uma opinião ao testar-se uma simples peça ou na ocorrência de uma simples greta.

#### CONTROLE DO ESTADO DO VIDRADO PELO ESCORRIMENTO EM FUSÃO (1).

Um controle relativamente simples que se faz na fabricação de peças vidradas, e que pode ser estendido também às composições que predominantemente contêm frita, é o chamado ensaio do botão de escorrimento.

Pesa-se uma quantidade de frita moída e classificada entre a peneira tyler 30 e 60, e coloca-se num molde cilíndrico onde por pressão prepara-se uma pastilha de aproximadamente 10 mm de diâmetro e 6 a 10 mm de altura. Prepara-se sempre em paralelo uma pastilha de vidro padrão. As pastilhas são colocadas sobre uma base de cerâmica. Leva-se ao forno a uma temperatura variável (de acordo com a maior ou menor fusibilidade) durante 4 a 8 min. Após esse tempo, a pastilha adere a base e pode-se colocar a base em posição vertical para efetuar o escorrimo da pastilha em fusão.

A pastilha padrão deve escorrer no mínimo 30 mm. Anota-se a diferença entre os comprimentos das duas pastilhas.

As diferenças para mais ou para menos pode indicar:

- a. Diferenças na composição química.
  - a.1. Variação da composição da matéria prima.
  - a.2. Erro na pesagem
  - a.3. Falta de mistura.
  - a.4. Perda de componentes por excesso de triagem.
- b. Diferença causada pelo estado granulométrico das matérias primas.
  - b.1. Matérias primas mais grossas.
  - b.2. Segregação da mistura dispersa em água (vidrado cru).

II. ESCOLHA DO MODELO DE PEÇA CERÂMICA PARA SER USADA NO TESTE DE ESCORRIMENTO DO ESMALTE.

Na indústria de azulejos, o teste de escorrimento do esmalte é feito da seguinte maneira: Em cima de um azulejo crú, é colocado uma pastilha de vidrado, também crú, prensada como descrito anteriormente. E esse conjunto é posto para queimar. Alcançado a temperatura de amolecimento do vidrado (onde tem-se também a aderência total da pastilha ao biscoito do azulejo), o conjunto é colocado na posição vertical para que se possa medir o escorrimento que acontecerá devido ao aumento da fluidez do vidrado no processo de queima normal. Para melhor compreensão do teste, em controle de qualidade de uma indústria de azulejo, podemos afirmar que a aderência da pastilha de vidrado ao biscoito, é feito no laboratório de controle e o conjunto é posto à calcinação no forno industrial (quer dizer com um ciclo de queima idêntico ao da produção).

A peça escolhida para se produzir foi originalmente projetada e é largamente utilizado em indústrias cerâmicas de produção de artigos sanitários, e consiste num avanço, pois evita a etapa de fixação da pastilha ao biscoito (tal como no processo do azulejo), é queimada no processo de monoqueima e tenta reproduzir ao máximo o que ocorre na peça sanitária a ser produzida, uma vez que reproduz o processo de conformação, que é por colagem e o tipo de queima único. O corpo de prova ou

modelo escolhido, consta de uma peça que tem como perfil um trazepézio irregular onde os ângulos existentes facilitarão o escorrimento.

As dimensões da peça foram governadas pela abertura da câmara do forno mufla do laboratório (15 cm x 15 cm). No topo da peça existe um detalhe que faz com que a pastilha fi que presa ã peça.(fig. 3).

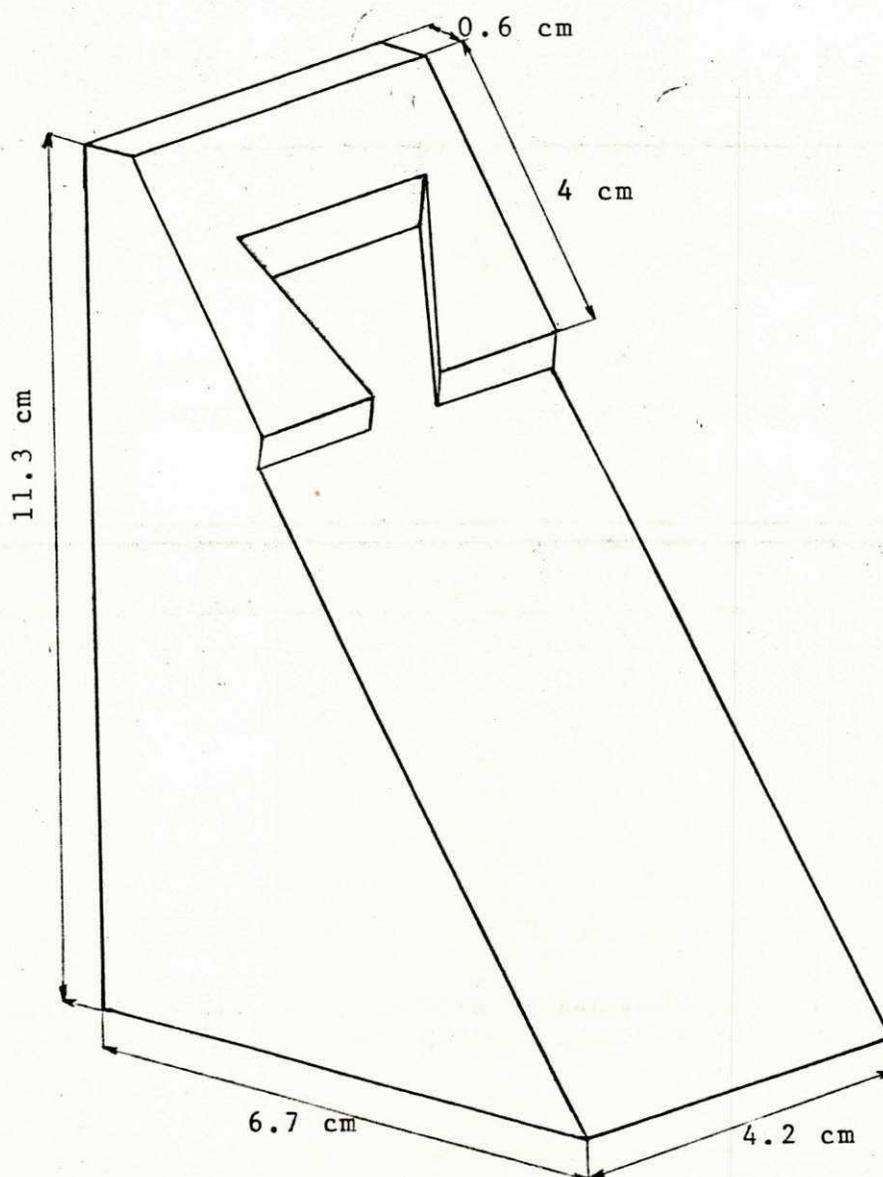


FIG. 3

### III. CONFECÇÃO DO PRÉ-MOLDE

#### 3.1. INTRODUÇÃO

Muitas composições são materiais em potencial para fabricação de moldes que podem ser de gesso; material cerâmico; plástico; metálico; areia. Pode-se utilizar material para facilitar o destaque da peça do molde: Alginatos; grafita; talco; mica; silicone; óleo de oliva e amidos tratados (6). O Gesso ("Plaster of Paris") é universalmente utilizado, devido as seguintes vantagens: 1. Custo relativamente baixo, 2. Técnicas simples para produzir moldes a partir de modelos - padrões, 3. O fato de que sua porosidade pode ser controlada, e 4. O fato de que pode ser secado e reutilizado (2).

#### 3.2. MATÉRIA PRIMA (3)

A gipsita e o gesso apresentam uma história utilitária para a humanidade datando de milhares de anos, sua mineração e industrialização espalhavam-se por todos os recantos da terra, dadas sua utilidade e versatilidade. Chineses, Assírios, Gregos usavam a gipsita para trabalhos artísticos em esculturas e decorações; em épocas remotas, o Grego Teofrastos desenvolveu a calcinação da pasta de gesso. Mas o conhecimento mais antigo do gesso vai a cerca de 5.000 anos atrás, no Egito, onde se verificou a possibilidade de seu uso em tijolos e paredes. Durante séculos foi o gesso usado de maneira limitada, somente para fins ornamentais, não alcançando maior aplicação, limitada pelo tempo

rápido de pega (de 25 a 30 minutos). Somente na França, por volta de 1755, foi o gesso interpretado devidamente na sua natureza química e a partir dessa data houve aumento gradual de sua utilização. Daí lhe veio a denominação de "Gesso de Paris" ou "plaster of Paris", pois foi na região Parisiense que teve início a exploração sistemática de um grande depósito. Por volta de 1885, o desenvolvimento de um método industrial para retardar a pega do gesso acarretou uma revolução na indústria da gipsita. Por permitir o uso do gesso na indústria da construção.

A gipsita é um mineral, de larga ocorrência natural; é um sulfato de cálcio dihidratado, de composição  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , o que corresponde a 79% de sulfato de cálcio e 21% de água. Em sua forma bem cristalizada e transparente, ela é chamada "Selenita". A variedade maciça é denominada "Alabastro", que pode ser facilmente trabalhado para objetos de adorno e esculturas. A variedade "Fibrosa" é conhecida como "Satin Spar" ou "Espatoce-tim". A gipsita pode ocorrer em mistura com argilas, carbonatos e anidrita. A anidrita é um mineral de composição  $\text{CaSO}_4$ , sem água de cristalização; ela ocorre frequentemente associada à gipsita.

A gipsita calcinada parcialmente, até a perda de 1,5 moléculas d'água ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ), constitui o produto chamado "Gesso de Paris" ou simplesmente "Gesso". O gesso é produzido por aquecimento gradual da gipsita em temperaturas da ordem de 125 °C a 175 °C, em tempos curtos de cerca de 2 horas. A característica importante do gesso é a sua capacidade de rehidratação, em presença de água líquida, acompanhada do fenômeno da pega e o retorno à estrutura cristalina de gipsita.

PROPRIEDADES DO MINERAL GIPSITA

Composição Química:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; ( $\text{CaO} = 32,5\%$  ,  $\text{SO}_3 = 46,6\%$  , P.F = 20,9%); mono clínico; clivagem perfeita do plano (010); densidade: 2.30 a 2.37  $\text{g/cm}^3$ ; dureza: 1.5 a 2.5 escala de MOHS. Ponto de fusão: - Não funde, mas aquecido entre 900°C e 1200°C decompõe-se em  $\text{CaO}$  e  $\text{SO}_3$ . A cristalografia de raios-X(3) foi feita por M. Atoj e R.E. Rundle: Existem pares de folhas adjacentes (1:1), paralelas a plano (010), que contém os cations  $\text{Ca}^{2+}$  e os ânios tetraédricos  $\text{SO}_4^{2-}$ ; entre as camadas sucessivas (pares de folhas  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ), acham-se as moléculas de água que estão situadas de modo a formar pontes de hidrogênio com os oxigênios do grupo sulfato; cada cation  $\text{Ca}^{2+}$  está coordenado, a 6 oxigênios de grupos  $\text{SO}_4^{2-}$  e a 2 moléculas de água. Assim, a clivagem (010) está perfeitamente coerente com a morfologia cristalina ou lamelar da gipsita. Assim as moléculas de água estão dentro de "canais" paralelos e longitudinais movendo-se com relativa facilidade pelo efeito da temperatura até 200°C: esse tipo de água móvel em canais e em temperaturas não muito elevadas (até 200°C) e chamada "água zeolítica" pelos Franceses.

A designação de gesso-Alfa e gesso-Beta (ou hemidrato-Alfa e hemidrato-Beta) foi feita por Kelly(12). A forma Alfa é preparada pela desidratação de gipsita, em água, a temperaturas acima de 97°C, em vácuo, ou em condições afastadas daquelas de vapor d'água saturado. Vê-se, portanto, que as definições dos hemidratados - Alfa e Beta são feitas em função do processo (laboratório; piloto; industrial) de

fabricação. O gesso beta tem maior energia livre e maior solubililidade que o gesso-Alfa, o que leva a propriedades diferentes (por exemplo: o gesso-Alfa é o chamado "Gesso Pedra" em odontologia) da gipsita reformada pela reidratação.

### 3.3. MÉTODO

Conforme poderíamos supor, a função principal do setor de fabricação de moldes em qualquer Empresa é manter os fundidores abastecidos com moldes suficientes para as suas necessidades. De forma que isto possa continuar indefinidamente sem a perda da qualidade, temos que construir uma sucessão elaborada de estágios intermediários entre o modelo original e o molde de trabalho requisitado.

O primeiro estágio é tirar um pré-molde (4) do modelo. Este vai ter exatamente o mesmo formato do molde de trabalho final e de fato é geralmente usado para produzir peças da amostra inicial. Se as amostras forem satisfatórias e a peça tiver que ser produzida, o próximo estágio a ser cumprido é a fabricação de moldes para fazer a matriz, tirado do pré-molde. O pré-molde funcionará neste caso como fêmea e a matriz como macho. Cada peça do pré-molde é tirada separadamente e um molde será feito de maneira que que pré-moldes idênticos possam ser produzidos das matrizes, isto, conforme pode pensar seria o final da história: Nós vamos ter agora um modelo, pré-molde, matriz, molde de trabalho e por meio da matriz, os meios de produzir mais moldes de trabalho. Entretanto, não são os moldes de trabalho tem vida relativamente curta antes que se tornem muito desgastados para produzir amostras satisfatórias, como também as

matrizes se acabam e é necessário meio de reproduzi-los também. Na prática, mais dois estágios são introduzidos no processo. As matrizes, tiradas dos pré-moldes, são referidas como "block case moulds", e são usados apenas para produzir uma segunda geração de pré-moldes (moldes de trabalho); e é justamente destes que as matrizes de trabalho são feitas; e por sua vez estes vão dar origem aos moldes de trabalho. Isto pode parecer complicado; mas é essencial que uma vez que a fábrica tenha começado a produzir um item, tem que ser capaz de continuar a produção virtualmente para sempre e sem qualquer deterioração.

Observando o processo de uma forma inversa, nós vemos que quando um molde de trabalho se desgasta depois de produzir cerca de 10 a 100 peças (dependendo do corpo e mais importante ainda do padrão da mercadoria exigida), pode ser substituído tirando mais amostras das matrizes de trabalho, eventualmente as matrizes se desgastam ou se danificam (o gesso é muito vulnerável a um manuseio mais grosseiro), mas 200 moldes podem ser cuidadosamente obtidos de uma matriz. As matrizes são substituídas dos "working block moulds"; e geralmente o processo de substituição para por aqui. Entretanto na possibilidade extraordinária destes pré-moldes se desgastarem, as matrizes podem ser usadas para produzir substitutos; isto deixa contudo o pré-molde original como uma última alternativa, embora este seja raramente usado novamente exceto para referência.

Deve-se observar que uma responsabilidade considerável vai recair sobre o fabricante do pré-molde original. Não apenas vai facilitar a produção de quatro ou mais gerações de moldes dependendo de sua habilidade, mais também a qualidade de

quaisquer futuras peças de acabamento a serem feitas (5).

#### EXPANSÃO E INTUMESCIMENTO (3) e (4)

Um outro fator que deve ser levado em consideração é que o gesso incha muito levemente quando colocado, isto é geralmente uma vantagem na fabricação de pré-moldes, de maneira que o intumescimento tende a soltar o molde do modelo; mas é claro que quando da fabricação de matrizes usaremos um molde fêmea, onde o entumescimento tende a apertar a peça modelada o que torna a soltura mais difícil.

Desta forma quando o fabricante de molde planeja seu pré-molde ele tem que levar em conta não só a habilidade do molde em soltar-se do modelo quando o intumescimento do gesso e o encolhimento da argila estão ambos atuando, mas também a matriz intervindo onde a soltura é mais difícil, é onde a preocupação com o design (5) do molde é mais importante. Conforme se pode imaginar, este é um problema grande.

#### CONTROLE DE POROS (2)

A porosidade do molde de gesso, é então sua habilidade de retirar a água da barbotina, e, em proporção igual à quantidade de água necessária à mistura de gesso. A resistência mecânica do molde é certamente diminuída pela alta absorção; entretanto, a velocidade de absorção é rapidamente aumentada quando há áreas porosas maiores dentro do molde.

CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE CARÁTER PRÁTICO PARA A UTILIZAÇÃO DO GESSO:

É dada a seguir uma lista dos fatores que podem afetar a duração da vida dos moldes, partindo de gessos comerciais.

As Características da Água - Em razão do mecanismo de pega, a qualidade da água tem influência sobre o empastamento (6) do gesso em função das substâncias nelas contidas. Essas podem agir tanto como aceleradores ou retardadores da pega.

Tipo de Gesso - Os gessos utilizados no comércio situam-se entre os seus extremos, isto é, entre os tipos Alfa e Beta (3), o Beta sendo aquele preponderante. Podendo contudo mostrar diferenças em virtude da origem das gipsitas e dos processos de fabricação utilizados.

Relação Gesso/Água - É fator importante na fixação das características de um gesso. Essa relação sofrerá influência da pequena solubilidade do gesso na água (3) e da quantidade de água teórica necessária para a rehidratação do gesso. Na prática industrial, existe ampla variação nos limites das proporções gesso/água em função de fatores vários, como a qualidade dos gessos utilizados, a proporção de gesso Beta e Alfa, a destinação e o tipo dos moldes (6), pode-se dizer, como tendência geral, que a proporção de água utilizada tende a ser maior do que a desejada, onde é dada a preferência à maior fluidez das barbotina de gesso em detrimento da resistência (2) e da durabilidade dos moldes.

Incorporação do Gesso na Água - Idealmente o gesso deve ser incorporado na água em agitação, afim de conseguir a hidratação total da massa.

Influência da Velocidade e Tempo de Agitação e Preparação - São os dois fatores principais associados à energia de empastamento. De maneira geral, quando a velocidade de agitação aumenta, diminui os tempos de pega (6), de operação e de colagem. Em contra partida, sobre a resistência mecânica esta é aumentada e também sobe o coeficiente de absorção, sem alteração da porosidade (6).

#### 3.4. PROCEDIMENTO E RESULTADOS

Na elaboração do modelo foi utilizado o gesso como matéria prima, por razões já explicadas anteriormente. A agitação, na elaboração da barbotina de gesso, foi feita manualmente. A mistura gesso/água, foi na seguinte proporção (7): 3 kg de água mais 3.5 kg de gesso. O gesso foi embebido em água por 2 minutos e agitado durante 3 minutos. Em seguida, vertido em uma caixa de vidro. Após a pega (cerca de meia hora) o modelo foi escupido do bloco, em um trabalho artesanal.

Após secar o modelo foi untado com óleo, e apoiado por suporte (o modelo na horizontal). Após processar a pasta de gesso, o modelo foi coberto até a altura pré-estabelecida. Depois de ocorrer a pega do bloco, a face lateral do pré-molde foi untado com óleo e completado até uma altura máxima. Após a pega foi separado a parte primeira elaborada da posterior.

#### IV. PREPARAÇÃO DA MASSA, PARA COLAGEM

##### 4.1. INTRODUÇÃO

A barbotina para colagem é uma suspensão de materiais cerâmicos em água suficientemente fluida para ser vertida (daí o nome "colagem" associado a esse método de modelagem vindo do termo couler), É vertido em moldes secos de gesso, os quais retiram água da barbotina, elevando seu limite de escoamento acima do necessário para suportar a peça moldada ou fundida sob a ação das forças de gravidade. É comum deflocular a barbotina para reduzir o teor de água e obter peças fundidas mais resistentes. A colagem é uma arte antiga, sendo usada desde 1700 na Europa. Todavia a primeira aplicação de defloculante foi mencionada por BRONGNIART em 1844 (7).

A obtenção de uma colagem ou fundição adequada para a fabricação de grês depende principalmente, dentre outros fatores, do grau de defloculação da barbotina, o qual pode ser considerado como o ponto ótimo para colagem, no qual uma barbotina está próxima de sua viscosidade mínima obtida pela adição de defloculante. O grau de defloculação da barbotina depende, entre outros fatores: a) do teor de partículas abaixo de 2  $\mu$  de diâmetro equivalente; b) da relação argila/água; c) da espécie e quantidade de defloculante (silicato de sódio, carbonato de sódio, hexametáfosfato de sódio); d) do PH da barbotina; e) da espécie e da quantidade de cátions e ânions flocculantes presentes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ); f) da espécie e da quantidade de matéria orgânica. Quanto mais afastada

está a barbotina de sua viscosidade mínima, maior será sua ten  
dência para aumentar a viscosidade com o tempo (8), podendo atin  
gir em alguns casos a formação de gel (endurecimento da barboti  
na); porém, pela agitação, volta ao estado líquido inicial;  
esse fenômeno é conhecido com o nome de tixotropia, que é uma  
transformação sol-gel isotérmica reversível.

Defloculação de Barbotinas - Os defloculantes devem ter duas ca  
racterísticas, sendo uma delas a reação básica ou alcalina, e a  
outra fornecer um cátion monovalente. Portanto, todos os deflo  
culantes são sais de metais alcalino ou de amônio, tais como  
carbonato de sódio, silicato de sódio e hidróxido de sódio que  
se encontram dissociados em uma solução aquosa para dar uma rea  
ção alcalina.

Teoria da Defloculação - Se uma suspensão monodispersa de par  
tículas de argilo-minerais saturada com cátions de hidrogênio  
(argila ácida ou de hidrogênio), for deixada sedimentar por lon  
go tempo, as partículas se depositarão em camada no fundo do re  
cipiente. Quando essa condição de equilíbrio for alcançada, ha  
verá um balanço entre forças de repulsão, atração e a força da  
gravidade.

Se após a decantação da suspensão, a argila  
for seca lentamente, será possível medir o volume e calcular a  
espessura da película de água. Essa espessura é maior que a da  
argila plástica, uma vez que as forças são menores. Entretanto,  
a densidade aparente da peça seca será menor que a de uma peça  
seca correspondente de massa plástica, desde que não tenha ha  
vido oportunidade para as partículas se compactarem.

Ainda mais, a suspensão acima discutida, quando examinada ao microscópio, apresenta-se composta não por partículas individuais, mas sim por pequenos flocos ou agregados de muitas partículas. Por esse motivo a suspensão deposita-se rapidamente e deixa um sedimento de baixa densidade.

Isso contrasta com o comportamento de uma fração semelhante de caulinita que foi defloculada com o NaOH. Aqui as partículas estão individualizadas e deslocam-se por movimento browniano; portanto a sedimentação é muito lenta. Se tempo suficiente for dado, contudo, o sedimento é mais denso que para o caso antecedente, porque cada cristal se adapta em um arranjo densamente compactado. Algumas vezes, isso produz um sedimento muito semelhante a uma rocha após a eliminação da água (é o caso de muitos folhelhos argilosos, argilitos e argila tipo flint encontrados na natureza).

Dessa evidência simples pode ser deduzido que no sistema floculado, há forças atrativas entre as partículas que as aglomeram em flocos ou agregados. Entretanto, a uma certa distância entre as partículas, as forças de repulsão aumentam até equilibrar as de atração, ficando mantida uma condição estável.

Por outro lado, em suspensão defloculada, não há evidências de qualquer força atrativa. Isso é confirmado pelo fato de os sistemas floculados terem limites de escoamento definidos enquanto os sistemas defloculados não.

Mecanismo da Defloculação - Discutimos o que acontece em defloculação, porém não é simples explicar porque ela ocorre. A teoria mais aceita pelos químicos coloidais, será descrita sucintamente a seguir, porém deve-se lembrar que, presentemente, é apenas uma teoria e existe pouca comprovação para substanciá-la. Suponhamos uma estrutura de caulinita com uma aresta tendo ligações quebradas. Admite-se que  $(OH)^-$  estão absorvidos preferencialmente nos pontos positivos no retículo lamelar. Na argila de hidrogênio, os  $H^+$  agem como íons neutralizantes (counter íons) dentro do "invólucro" de água. O tamanho dessa camada muda com tipo de íon neutralizante, tornando-se maior com a presença do íon  $Na^+$  mais fortemente hidratado. À medida que a concentração de NaOH aumenta, a carga negativa sobre a partícula aumenta, porque o  $Na^+$  em maior teor fora da camada de água deixará algum  $(OH)^-$  não neutralizado. A argila de hidrogênio não deveria ter carga elétrica e PH igual a 7 (7), porém tal não acontece devido as impurezas dissolvidas na água destilada. adicionando-se NaOH até o valor da capacidade de troca de bases, não há grande mudança no PH, por causa de uma espécie de ação-tampão. Porém, tão logo a capacidade de troca de base é excedida, os íons  $Na^+$  e  $(OH)^-$  existirão dissolvidos no meio aquoso dispersante e evitarão o desenvolvimento de qualquer força atrativa.

#### Objetivo da Defloculação de Barbotinas para Colagem

Há várias razões porque se faz a defloculação de barbotinas para fins de colagem. A mais importante é o fato de uma camada firme de argila ser formada no gesso, com uma gradação súbita em barbotina líquida. Uma outra razão para

defloculação é reduzir o teor de água de camada "colada". Também barbotinas defloculadas apresentam pouca tendência para sedimentar, de forma que pode ser obtida uma parede de espessura uniforme do topo ao fundo da peça colada.

Segregação - Como a maioria das barbotinas é feita de argilas minerais e não-plásticos, pode-se esperar que a parede da peça colada não seja homogênea. Há poucos estudos sobre esse assunto, porém a experiência indica uma boa uniformidade da camada colada. O teor de água contudo não é uniforme face a face, e isso causa uma retração diferencial na secagem e até na queima. Por exemplo, se uma placa fina é fundida sobre uma superfície plana, os bordos curvam-se para fora do gesso na secagem. Se a peça é cilíndrica, como ocorre em grande número de peças moldadas manualmente, não pode ocorrer empenamento; entretanto, tensões internas são introduzidas. Um azulejo plano pode ser fundido numa superfície plana em um molde com duas superfícies planas, uma vez que o gradiente do teor de água é simétrico.

Propriedades de Barbotina de Colagem - As propriedades desejáveis para as barbotinas de colagem, muitas das quais podem ser medidas quantitativamente para se ter um quadro panorâmico, são as seguintes: Uma viscosidade suficientemente baixa para poder ser vertida com facilidade em um molde; Uma baixa velocidade de sedimentação quando em repouso; Habilidade para drenar uniformemente (no estampo de gesso); Baixa retração de secagem após a colagem; alta resistência mecânica na forma úmida e seca após a colagem.

#### 4.2. MATÉRIA PRIMA E COMPOSIÇÃO DA MASSA

A barbotina usual para cerâmica branca (cerâmica triaxial) (8) é composta de caulim, ball clay, e de minerais não-plásticos.

A ball clay retarda a velocidade de colagem e, sendo usada em porcentagens altas (acima de 22%), leva à formação de regiões mole. Ela também aumenta a resistência a verde da peça cerâmica. O caulim dá colagem mais rápida, porém apresenta resistência a seco e a verde mais baixas.

Utilizamos a seguinte composição do corpo (7).

Tipo do Corpo: Porcelana  
Temperatura de Amolecimento: 1225°C (Biscoito queimado a 1000°C)  
Cone Orton: 8 - 9  
Sílica Cerâmica: 190  
Feldspato Potássico: 370  
Caulim: 290  
Ball Clay (Argila de bodocongô): 150  
Água: 1500  
Encharcar, horas: 12  
Malha da Peneira: 100  
cm<sup>3</sup> de solução da floculante: 15  
Massa Específica da Barbotina: 1.4  
Cor após a queima: marrom  
Translucidez: nenhuma

A solução de defloculante foi feita por uma mistura de 15 g de carbonato de sódio (anidro) e água para completar 100 cm<sup>3</sup>.

Por não dispor de ball clay utilizamos uma argila escura (desconhecida) do açude de bodocongô.

O caulim utilizado é o produto comercial da Caulisa S.A.

Os não-plásticos foram fornecidos pela Arbame Statner.

O desmoldante utilizado foi o talco.

#### 4.3. MÉTODO DE PREPARAÇÃO DA MASSA

Primeiramente lavamos a argila de bodocongô para separar a fração argilosa da sílica livre. Em seguida adicionamos na suspensão o carbonato de sódio que resultou na formação de complexos orgânicos, que conferem maior fluidez e abaixamento do consumo total de defloculante (10).

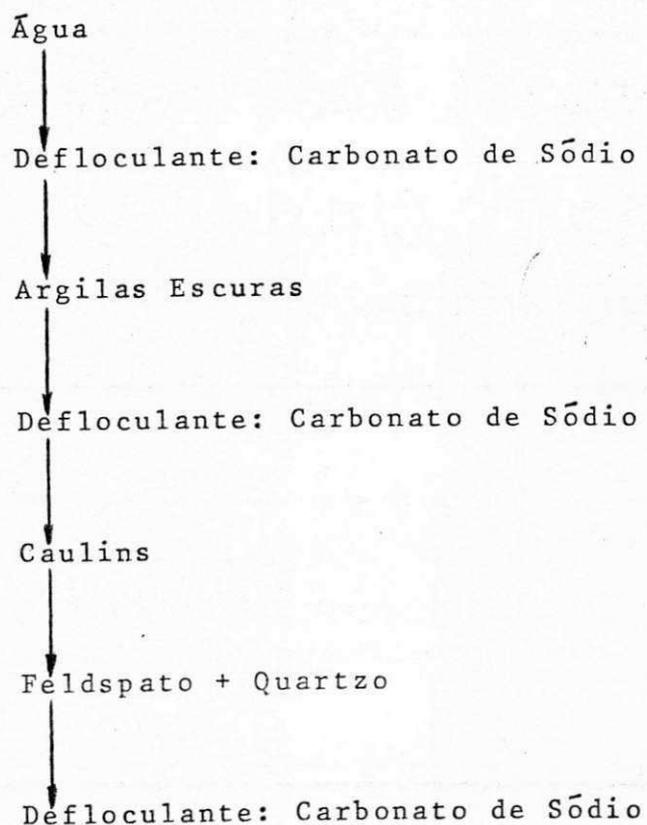
Após a adição de todas as matérias primas plásticas, com agitação e fluidez suficientes para uma boa dispersão, caberá a vez dos não-plásticos (quartzo e feldspatos).

Essa introdução dos não-plásticos condiciona um levantamento da densidade com efeitos flocculantes, que foi corrigido com novas adições de carbonato de sódio.

Normalmente a barbotina é considerada pronta quando sua composição permanecer levemente flocculada. Relativamente ao seu acerto final, devendo sazonar por período não inferior a 24 horas antes do uso.

Uma necessidade ideal de seqüência na colocação dos defloculantes tem sido também realçada por SHORY (10).

A seqüência de processamento descrita das matérias primas é dada esquematicamente a seguir:



## V. CONFORMAÇÃO POR COLAGEM

### 5.1. INTRODUÇÃO

A colagem é um processo já há muito empregado e que utiliza uma suspensão coloidal. Na suspensão também chama da barbotina, a água é retirada por meio de um molde poroso. Após a formação de uma camada com espessura desejada, a barbotina restante é drenada, a água é retirada da camada pelo molde, que é, a seguir removido. Nesse ponto, temos a peça verde, que apresenta propriedades semelhantes as de uma pasta coloidal com pouca água. A principal vantagem da colagem é conformar peças com formato complexos. Ainda apresenta vantagens econômicas quando se trata de produção limitada, o que faz com que seja o processo preferido pelos artistas cerâmicos. Possui também aplicações industriais quando se quer fabricar produtos com paredes delgadas a partir de matérias-primas não plásticas, como é o caso dos tubos de maçarico com alto teor de alumina e dos tubos para pares termoelétricos.

Podemos discutir os princípios que governam a colagem, de forma mais convincente, quando comparamos com o processo de filtração. Nos dois casos existem diferenciais de pressão que provocam a difusão da água através dos sólidos.

A camada depositada aumenta de espessura com uma velocidade proporcional à velocidade da água ao atravessar tal camada. Uma suspensão coloidal com grande quantidade de água forma um depósito vagorosamente, pois quantidade considerável de água deve ser filtrada através do depósito, e o gradiente de absorção do molde é reduzido. Recíprocamente, uma barbotina de bai

xa viscosidade é necessária a um preenchimento efetivo dos con tornos do molde para evitar o aparecimento das bolhas de ar.

Partículas equiaxiais (em contraste com as partículas bidimensionais) formam um depósito relativamente permeável. E é por essa razão, entre outras, que se torna desejável a inclusão de sílica moída na barbotina, se já não estiver presente, como impurezas nas argilas. Sem a adição de tais materiais, haverá a formação de um depósito não permeável altamente orientado (7).

A falta de uma teoria de defloculação que inclua materiais argilosos e materiais não-argilosos faz com que a colagem seja mais uma arte do que uma ciência (9). Hoje é possível deflocular argilas; óxidos; fluoretos; metais e cermetos(9).

Processo de Absorção de Água - Como simples exemplo, tomar um molde seco de gesso e verter rapidamente uma barbotina. Ao verter, admitir que a barbotina contenha 20% de água e que o gesso esteja seco. Após o intervalo de tempo, a barbotina perto do gesso terá perdido água, e o gesso terá ganho. A água escoando para dentro do gesso deverá passar através da parede rígida de argila adjacente ao gesso, a qual agirã como um filtro. Por conseguinte, a velocidade de colagem dependerã consideravelmente da permeabilidade da camada de argila.

Orientação Preferencial - Partículas de argila-mineral são placas e pode-se esperar que no processo de colagem, elas se ordenem de um modo regular, semelhantes as telhas francesas em um telhado. Há uma boa evidência para que isto seja verdade, uma vez que uma camada fundida no gesso tem maior retração de seca

gem na direção da espessura do que no seu comprimento ou largura.

Método de Colagem por Drenagem - Primeiramente é aplicado o des moldante, na face interna do molde da seguinte forma: Como o mol de está seco, com o auxílio de uma esponja, molhamos a superfí cie do molde e em seguida aplicamos o talco "desmoldante", que adere a superfície úmida. Fechado o molde, este é preso por uma liga, fortemente, para que não se movimente. Adaptamos um funil no cano de alimentação, pois a altura do funil é que dará a pres são de colagem. Paralelamente já dispomos de uma "bacia" feita do mesmo gesso da peça. Após, verter a barbotina até a altura pré-estabelecida no funil, enchemos a bacia que deve ter o mesmo volume da peça.

Após completar o tempo pré-estabelecido, dre namos a peça e a bacia, daí observamos a superfície da bacia, até que ela perca o brilho e fique fôscas, já pode des moldar a pe ça.

## 5.2. DEFEITOS NA COLAGEM

Uma das dificuldades encontrada na colagem é uma pequena deposição da barbotina, que causa maior espessura da parede no fundo da peça. Isto é causado por massa específica mui to baixa de barbotina ou por uma defloculação inadequada. Um ou tro defeito é o dos furos de alfinete, causado por bolhas de ar na barbotina. Drenagem insuficiente devido a uma mistura inade quada de argilas na massa ou a má defloculação. Um outro defeito é denominado enrugamento, onde linhas finas aparecem ao redor da peça, por que a barbotina eleva-se em pequenos saltos na superfí cie do molde. Enchimento rápido do molde ou vibração ajudará a corrigir esse defeito.

### 5.3. ACABAMENTO DA PEÇA

O acabamento é uma operação importante no processo industrial, pois é ele que define a qualidade do produto fabricado. Alguns dos processos serão descritos a seguir.

A eliminação das rebarbas de peças fundidas deve ter o local da alimentação raspado, isto é, a parte extra que mantém a barbotina para retração comumente chamada de sobresalente.

No local onde há veios deixados pelas juntas do molde, no caso da peça ainda verde, essas juntas podem ser eliminadas por meio de esponja, não se obtendo o mesmo resultado com a peça já queimada.

No caso de trincas e falhas no processo de fundição, podemos tentar retificar passando filete com um pouco de barbotina. A inspeção à crú, determinará se uma peça está em condições de ser queimada ou não.

VI. C O N C L U S Ã O

6.1. Sem o Gesso de Paris a indústria de cerâmica branca praticamente não existiria. Sua rápida aderência, secagem relativamente rápida, fácil controle de propriedades de absorção e o baixo custo fazem dele o único material adequado para a fabricação de moldes para a indústria cerâmica.

6.2. Argilas tipicamente plásticas, tipo ball clays são os componentes que mais pesam e regulam as características das barbotinas. A dificuldade de se encontrar uma argila plástica para uma cerâmica branca, nordestina, nos fez optar, para efeito de produzir uma peça como imaginada, pelo uso de uma argila escura, desconhecida e sem uso industrial, extremamente plástica, mas de queima escura (com uso certo para indústria de cerâmica vermelha). Embora usada em pequenas proporções na composição ela mudou as características da massa escolhida.

6.3. Com o pré-molde obtido foi possível a fundição de uma peça cerâmica, tal como imaginada, que após queima apresento como resultado do trabalho de estágio, e que na minha opinião qualifico o pré-molde como bom. Faz-se necessário construir as matrizes adequadas, mas isso é um assunto para um outro trabalho.

6.4. Com esse trabalho foi possível revisar as teorias envolvidas no processo de modelagem, produção de moldes, fundição de barbotina por colagem e do acordo massa/esmalte, de enorme importância para a produção de peças cerâmicas, bem como verificar praticamente o grau de dificuldade de execução dessas etapas de produção e maneiras de solucionar os problemas que surgiram.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGOSTI, G. - Notas de Aula do Curso, Vidros, Vidrados e Produtos Afins - 1982
2. VAN VLACK, L.H. - Propriedades dos Materiais Cerâmicos São Paulo . 1973
3. ANGELERI, F.B.; FARIAS CARDOSO, S.R. e SOUZA SANTOS  
As Gipsitas Brasileiras e sua Aplicação como Gesso na Indústria Cerâmica: Descrição dos Métodos Utilizados para seu Estudo e Caracterização. PARTE I: Ensaio Químicos. Cerâmica, 28(156) 471 (1982)
4. Plasters and Gypsum Cements for the Ceramic Industry - United States Gypsum Company - Chicago - 1978
5. Neal French - Industrial Ceramics - Tableware - Oxford University Press - 1972
6. ANGELERI, F.B.; FARIAS CARDOSO, S.R. e SOUZA SANTOS  
As Gipsitas Brasileiras e sua Aplicação como Gesso na Indústria Cerâmica: Descrição dos Métodos Utilizados para seu Estudo e Caracterização. PARTE IV: Estudo de Envelhecimento e de Algumas outras Propriedades de Gesso Comercial. Cerâmica, 29(163) 177 (1983).
7. NORTON, F.H. - Introdução à Tecnologia Cerâmica-São Paulo 1973.
8. SOUZA SANTOS, P. - Tecnologia de Argilas - Vol. 2 São Paulo . 1975

9. SOUZA SANTOS, P. - Panorama Tecnológico da Indústria Cerâmica - 26(123) 43 (1980).
10. SONIA REGINA e ANGELERI, F.B. - A Influência da Formação de Complexo Coloidal - Matéria Orgânica Relativa e Sulfato - sobre as Propriedades Reológicas de Barbotinas de Sanitários 26(126) 105(1980)
11. JOSÉ, E. M. e ANGELERI F.B. - Correlação entre Curva de Defloculação e Propriedades Reológicas de Argilo-Minerais, baseada no PH pelo Hidróxido de Sódio - 26(93) 125(1980).

A QUENTE

VIDRADO VISCOSO  
↓ RESFRIAMENTO  
VIDRADO RIGIDO

A FRIO

VIDRADO CORRETO

A FRIO

VIDRADO DE ALTA CONTRAÇÃO

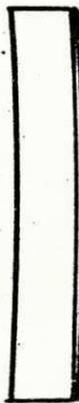
SOBRA

A FRIO

VIDRADO DE BAIXA CONTRAÇÃO



MUITO CONVEXO



POUCO CONVEXO



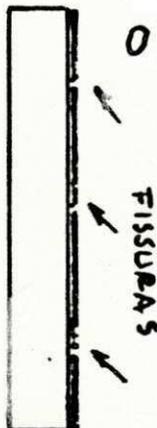
MUITO CONCAVO



LASCAMENTO



PLANO



GRETAGEM

↑ ↓ A C O M O ↓ A R T A O

↑ ↓ FISSURAS

FIG. 2

FIG. 1

AJUSTE MASSA-VIDRADO  
ESQUEMATIZADO