

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PATO BRANCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**GUSTAVO RODRIGUES DA MACENA**

**MATRIZ PARA CONFECCÃO DE CORPO DE PROVA DE MATERIAL  
CERÂMICO PARA ENSAIO DE FLEXÃO**

**PATO BRANCO  
2013**

**GUSTAVO RODRIGUES DA MACENA**

**MATRIZ PARA CONFECÇÃO DE CORPO DE PROVA DE MATERIAL  
CERÂMICO PARA ENSAIO DE FLEXÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em manutenção industrial, do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. M.Sc. Maria Nalu Verona

**PATO BRANCO  
2013**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

GUSTAVO RODRIGUES DA MACENA

**MATRIZ PARA CONFECÇÃO DE CORPO DE PROVA DE MATERIAL  
CERÂMICO PARA ENSAIO DE FLEXÃO**

Trabalho de Diplomação aprovado como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em manutenção industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. M.Sc. Maria Nalu Verona  
Orientador

---

Prof. Dr. M.Sc. Nome\_Do\_Primeiro\_Membro  
Primeiro Membro

---

Prof. Dr. M.Sc. Nome\_Do\_Segundo\_Membro  
Segundo Membro

Pato Branco, 30 de abril de 2013.

Dedico este trabalho à minha família que me deu total apoio nessa longa caminhada e aos professores e amigos que colaboraram de alguma forma para a realização deste projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais, minha esposa e filho pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

À minha orientadora de estágio, Professora Maria Nalu Verona, por me direcionar para as melhores escolhas e ser uma facilitadora para concluir tal projeto.

A todos os colegas e profissionais, que me ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”  
*Albert Einstein*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS</b> .....	<b>8</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>99</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>100</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	100
1.2 OBJETIVOS .....	100
1.2.1 Objetivo Geral .....	100
1.2.1 Objetivos Específicos .....	100
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1 Compactação de pós cerâmicos .....	11
2.1.1 Processo de compactação .....	14
2.1.2 Estados e mecanismos de compactação .....	14
2.1.3 Equação da compactação .....	20
2.2 Sinterização .....	21
2.2.1 Variações Dimensionais .....	21
2.2.2 Variáveis que afetam as dimensões .....	22
2.2.3 Densidade aparente (grau de compactação) .....	25
2.2.4 Composição da massa .....	27
2.3 Ensaio de flexão .....	30
2.4 Têmpera - Processo de tratamento térmico .....	32
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>344</b>
3.1 Materiais .....	34
3.2 Procedimentos metodológicos .....	34
3.3 Desenvolvimento do dispositivo .....	35
3.4 Resultados .....	41
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Efeito do tamanho de grânulo na fluidez..	12
Figura 02: Efeito do teor de umidade da massa..	12
Figura 03: Compactação de partículas esferoidais finais.....	13
Figura 04: Mecanismos de compactação.....	15
Figura 05: Variação do grau de compactação do corpo com a pressão.....	16
Figura 06: Variação do volume de poros..	17
Figura 07: Variação da distribuição do tamanho de poros.....	18
Figura 08: Variação da compactação do corpo.....	19
Figura 09: Variação do volume de poros intragranulares..	20
Figura 10: Efeitos da umidade na massa..	23
Figura 11: Efeitos do teor de umidade..	24
Figura 12: Efeitos da densidade após secagem.....	26
Figura 13: Efeitos da densidade após secagem sobre retração de queima..	27
Figura 14: Efeitos da variação de proporção.....	28
Figura 15: Efeitos da contaminação de calcário..	29
Figura 16: Ensaio de flexão.....	30
Figura 17: Matriz comum de compactação ..	35
Figura 18: Parafusos de aço para a fixação das duas partes.....	36
Figura 19: Cavidade da peça ..	37
Figura 20: Base de sustentação anexada na matriz.....	38
Figura 21: Cavidade da parte móvel para retirada do material ..	39
Figura 22: Parte móvel da peça.....	39
Figura 23: Duas principais partes da matriz ..	40
Figura 24: Punções superior e inferior.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$\rho_0$  = Densidade inicial

$\rho_F$  = Pressão aparente de fluência do granulo

$\rho_T$  = Densidade de compactação

$V_P$  = Variação do volume total de poros

$V_{PQ}$  = Variação do volume de poros intergranular

$V_{PP}$  = Variação do volume de poros intraganular

$P$  = Pressão

$C$  = Compactação do corpo

$\delta$  = Tensão

$\rho_G$  = Densidade do granulo

$L$  = Comprimento

$F$  = Força de flexão

$M_r$  = Módulo de rotura

## RESUMO

Ensaio em materiais cerâmicos são realizados frequentemente, sendo necessárias algumas ferramentas para que seja efetuado esses ensaios. Uma dessas ferramentas, que todo o processo passa a depender dela, é a própria matriz, que é usada para a confecção do corpo de prova que será ensaiado no teste de flexão. Através desse dispositivo o corpo de prova é produzido através do processo de compactação do pó cerâmico que nele é inserido.

A compactação é uma operação de conformação baseada na prensagem de um pó granulado contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível através da aplicação de pressão.

O processo necessita de um dispositivo que suporte a pressão imposta por uma prensa hidráulica para compactação total do pó cerâmico. Devido à essa necessidade surgiu a razão de se projetar esse dispositivo com a capacidade de produção dos corpos de prova compostos de material cerâmico, para que os mesmos fossem testados no ensaio de flexão.

**Palavras – chave:** cerâmica; corpo de prova; compactação, prensagem; flexão.

# 1 INTRODUÇÃO

Materiais cerâmicos por serem frágeis não são avaliados ou ensaiados em ensaio de tração, mas por ensaio de flexão, que pode ser de três ou quatro pontos. O laboratório de ensaio dos materiais possui um dispositivo para efetuar esses testes em cerâmica, porém não possui a matriz para compactação do pó para posterior sinterização dos corpos de prova, de modo que fiquem com dimensões de acordo com a norma ASTM / C1161.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Através desse dispositivo proposto que suporta a pressão que será imposta nesse processo, poderá suprir a necessidade de fabricação de corpos de prova, pois o mesmo sofrerá tensões de toneladas para que haja total prensagem do material, de modo que o mesmo possa ter as dimensões exigidas pela norma regulamentadora.

## 1.2 OBJETIVOS

Desenvolver um dispositivo capaz de confeccionar corpos de prova cerâmicos para realização do teste de flexão, através do processo de compactação de pós em uma prensa hidráulica.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Confeccionar uma matriz que suporte altas cargas de força, para a compactação de pós cerâmicos para confecção de corpos de prova de materiais cerâmicos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar uma matriz que suporte a carga necessária aplicada durante as compactações dos corpos de prova;
- Determinar o tratamento térmico adequado para aplicação no dispositivo;
- Determinar a faixa de tolerância de retração dos materiais para projeção do dispositivo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 COMPACTAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS

Compactação é uma operação de conformação baseada na prensagem de um pó granulado contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível através da aplicação de pressão. A compactação das partículas deve proporcionar que a peça a verde tenha resistência mecânica suficiente para suportar as solicitações inerentes ao processo de fabricação.

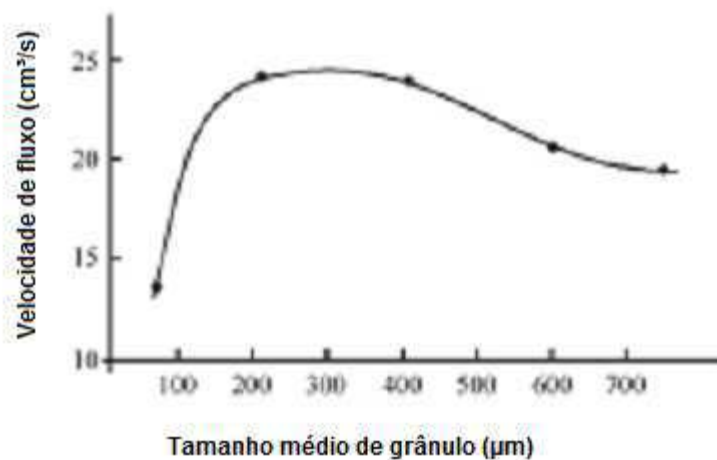
O processo de compactação também é necessário para aproximar o quanto possível às partículas do pó. O contato partícula-partícula promove a difusão de matéria maximizando a taxa de densificação na etapa de sinterização. Regiões com gradientes de densidade na peça a verde sofrerão diferentes retrações na etapa de sinterização ocasionando defeitos de forma.

Os resultados finais alcançados durante a sinterização estão intimamente conectados com as características do pó. Estas características são função da composição e propagação da massa, determinando as propriedades do pó como densidade, fluidez, etc.

A utilização de partículas pequenas (0,1 a 1,0  $\mu\text{m}$ ) é desejável para a sinterização devido à alta área superficial e conseqüente alta reatividade. Entretanto, pós com partículas maiores conferem um melhor empacotamento devido à fluidez. Quanto mais finas as partículas do pó, maior será a área superficial por unidade de volume e conseqüentemente a fricção entre elas. O atrito das partículas afeta a capacidade de fluir, prejudicando o preenchimento uniforme do molde e gerando gradientes de tensão na peça conformada.

As características determinantes da fluidez são a distribuição granulométrica, a forma, a textura superficial, a umidade e a aderência. A fim de melhorar a fluidez do pó a ser conformado utiliza-se o emprego de técnicas de granulação, principalmente o *spray drying*. Reunindo as partículas em grânulos maiores pode-se atingir a fluidez necessária para o empacotamento adequado.

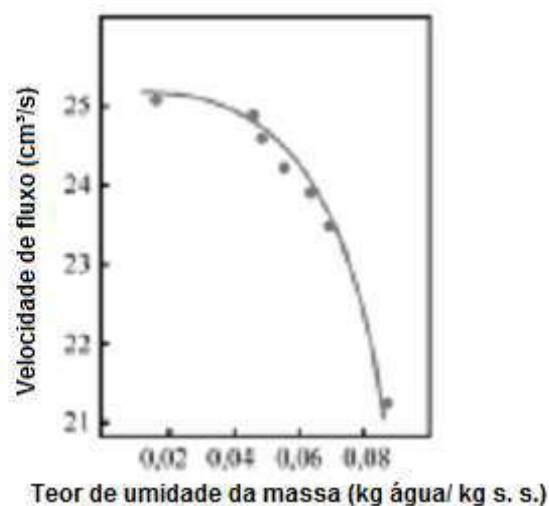
No gráfico da figura 1 observa-se que grânulos de tamanhos intermediários, entre 125 e 500  $\mu\text{m}$ , apresentam as maiores velocidades de fluxo por sua morfologia praticamente esférico e tamanho relativamente grande.



**Figura 1: Efeito do tamanho de grânulo na fluidez.**

Fonte: Cerâmica industrial (2000)

O aumento do teor de umidade resulta na diminuição da fluidez devido ao aumento das forças de adesão nos pontos de contato existentes entre os grânulos em consequência da tensão superficial da água. A influência do teor de umidade da massa é apresentada na figura 2, com o gráfico da observação de uma massa obtida por secagem via atomização utilizada na fabricação de revestimentos cerâmicos, em que o ligante é argila e o plastificante é água.

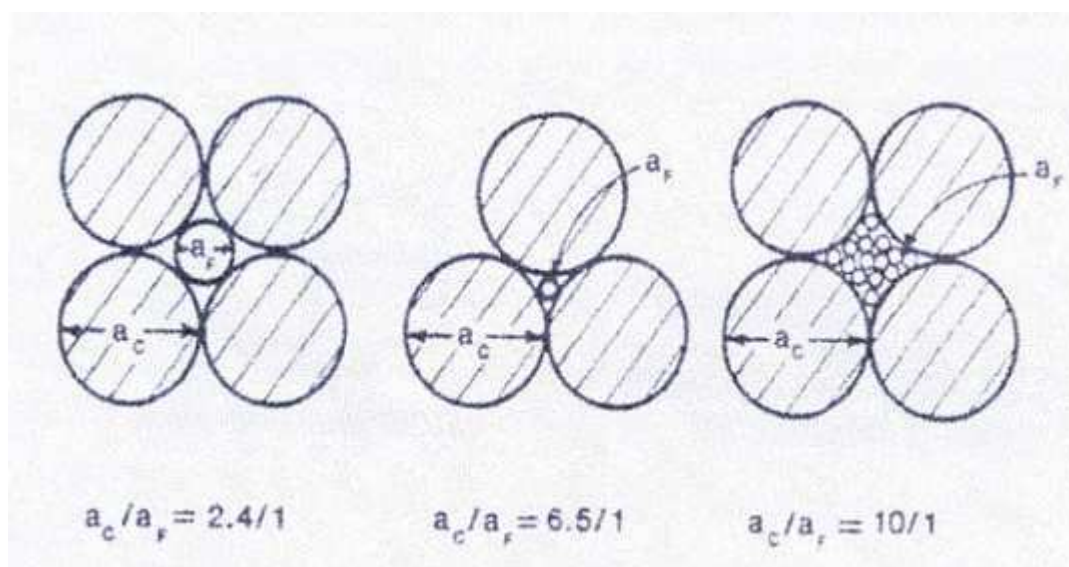


**Figura 2: Efeito do teor de umidade da massa sobre a velocidade de fluxo.**

Fonte: Cerâmica industrial (2000)

Pós que tenham mais de 5% de suas partículas finas tendem a prejudicar o escoamento tendendo a penetrar na folga entre o punção e a matriz, aumentando o atrito e dificultando o escape do ar aprisionado. A minimização dos problemas de compactação está associada a densidade de preenchimento da matriz, ou seja, com a diminuição da quantidade de ar entre as partículas.

A utilização de uma distribuição de partículas bimodal é comumente utilizada na maioria dos materiais cerâmicos para alcançar elevada densidade de compactação. Consiste pela distribuição de partículas pequenas nos interstícios das partículas maiores, figura 3, reduzindo a porosidade e tamanho de poros.



**Figura 3: Compactação de partículas esféricas finas no interstício de partículas maiores.**

**Fonte: Sá(2004)**

Moléculas de ligante e partículas coloidais adsorvidas podem dificultar o movimento das partículas provocado pela adesão. Porém, a adição de ligantes confere plasticidade aos grânulos, de modo que possam ser deformados plasticamente e devidamente consolidados na conformação.

O preparo adequado da massa de prensagem possibilita que a compactação aconteça com maior uniformidade, reduzindo gradientes de densidade e conseqüentemente defeitos na peça sinterizada final. A umidade do pó é uma característica que reduz a fluidez da massa a ser compactada, diminuindo a

capacidade de redistribuição do pó durante o carregamento ocasionando regiões com diferentes densidades ao longo da peça.

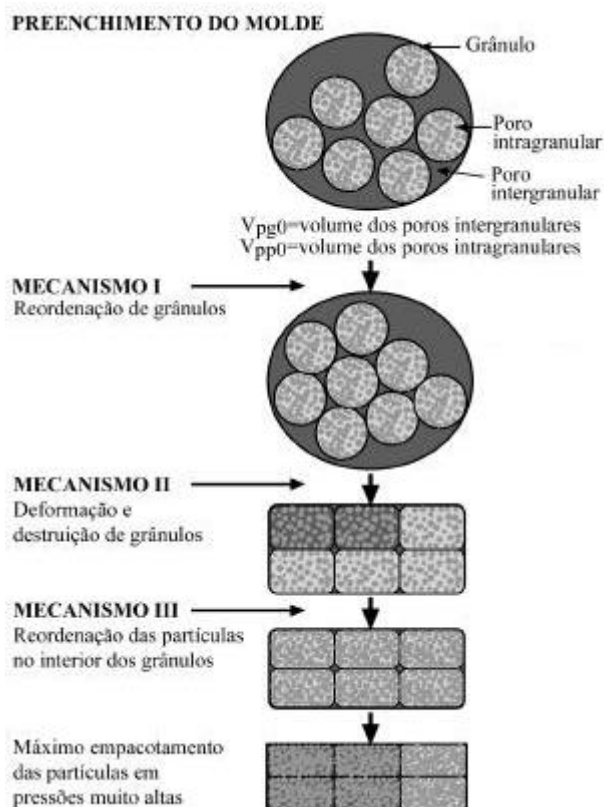
### **2.1.1. Processo de Compactação**

Quando o volume do material granulado contido no interior de uma matriz (rígida ou flexível) é submetido a uma tensão de compressão suficientemente elevada (unidirecional ou isostática) 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. Este processo implica basicamente no fluxo, na reordenação, na deformação plástica e na destruição dos grânulos, no intervalo de baixas pressões de prensagem, e no deslizamento e reordenação das partículas que constituem os grânulos em pressões habituais de prensagem. (CALLISTER, 2008)
- Uma compressão elástica das partículas, ligantes e lubrificantes líquidos, bem como do gás presente no corpo. Esta deformação se desfaz quando a carga é eliminada, sendo a responsável pela expansão do material. O fenômeno da expansão é analisado na fase de extração, uma vez que é nesta fase que se manifesta e causa problemas.
- Um fluxo de líquidos e gases através dos poros do corpo por fluxo viscoso, devido aos gradientes de pressão estabelecidos ao longo dos distintos pontos da peça.
- 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.

### **2.1.2 Estados e mecanismos da compactação**

Na compactação de um material granular (massa) a diminuição de volume dos poros e de seus tamanhos se dá através dos três mecanismos seguintes (**Figura 04**):



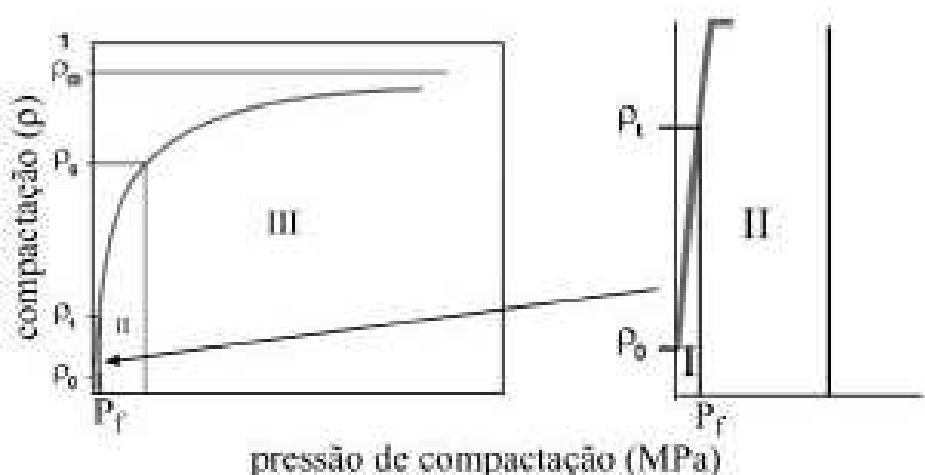
**figura 04: Mecanismos de compactação**  
fonte: CALLISTER, Willian D. Jr / 2008

**Mecanismo I:** Redução do volume ocupado pelos poros intergranulares e de seu volume através do deslocamento e reordenação dos grânulos.

**Mecanismo II:** Redução do volume e tamanho dos espaços intergranulares por deformação plástica e/ou destruição dos grânulos, dependendo das características mecânicas do grânulo (dureza, deformabilidade, resistência mecânica). Neste mecanismo se inclui o esmagamento de grânulos ocios, geralmente presentes nas massas cerâmicas. (CALLISTER, 2008)

**Mecanismo III:** Diminuição de volume e tamanho dos poros intragranulares pelo deslizamento e reordenação das partículas buscando alcançar um empacotamento de mais denso. Convém dizer que a destruição e/ou a deformação plástica das partículas que constituem os grânulos na prática nunca se dá em extensão apreciável, devido tanto a natureza frágil como a elevada dureza das partículas que constituem os materiais cerâmicos. Com base nas mudanças estruturais (volume e tamanho dos poros, compactação) a que é submetido o corpo com o aumento da pressão e levando-se em conta os intervalos de pressão em que predominam cada

um dos mecanismos descritos, a compactação de um material granulado pode ser idealmente dividida em três estágios de compactação (**Figura 05**).



**figura 05: Variação do grau de compactação do corpo com a pressão de prensagem. Estados de compactação: I Estágio inicial; II Estágio Intermediário; III Estágio final.**

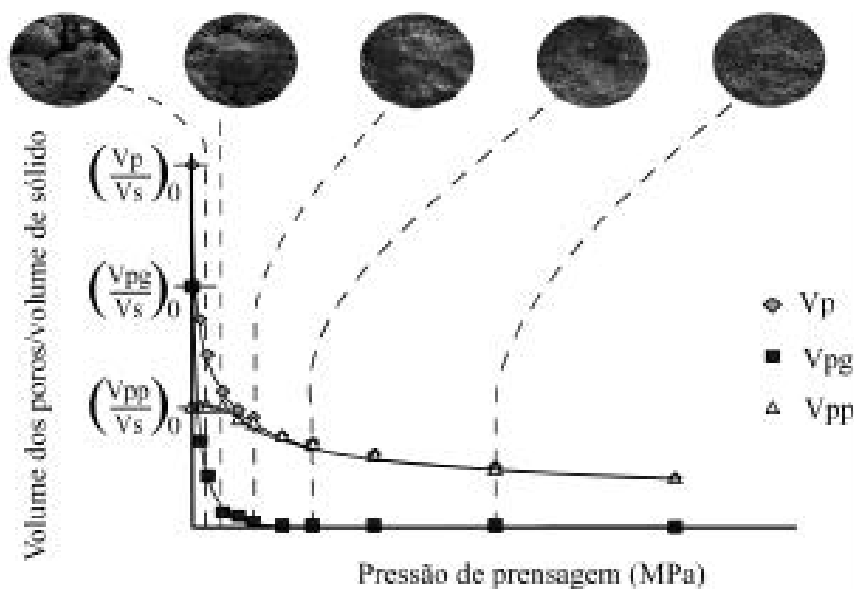
Fonte: Cerâmica industrial (2000)

O estágio inicial se estende desde o início da compactação do material,  $\rho_0$  (que corresponde à densidade de preenchimento do material) até o valor em que os grânulos atingem o grau máximo de empacotamento sem que ocorra sua deformação ou destruição, que coincide na prática com a chamada pressão aparente de fluência do grânulo,  $p_f$ , que se refere ao valor de pressão em que se inicia a deformação e/ou destruição dos grânulos.

A compactação do corpo neste ponto se considera praticamente a compactação máxima que se pode obter mediante reordenação dos grânulos através da vibração do material (densidade de compactação),  $\rho_t$ . O mecanismo de compactação predominante neste estado é o de deslizamento e reordenação dos grânulos. Apesar do efeito da pressão sobre a densificação da peça (dependendo da curva) ser o de maior valor em todo o processo, neste estágio só se incrementa ligeiramente a compactação do corpo, desde seu valor inicial,  $\rho_0$  até  $\rho_t$ .

O estágio intermediário compreende o intervalo de pressões que se estende desde a pressão de fluência  $p_f$  até o valor de pressão na qual a compactação do corpo coincide com a do grânulo. A maior parte da compactação que ocorre no

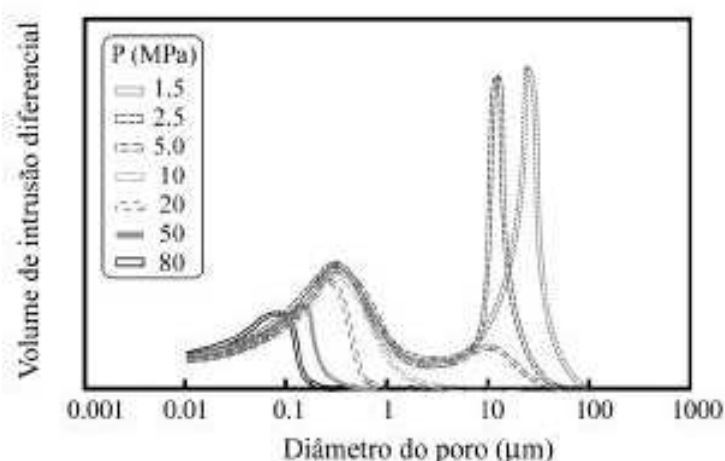
corpo durante a etapa de prensagem se dá neste estágio, através da deformação e/ou destruição dos aglomerados (mecanismo II). Conforme se aumenta a pressão de prensagem, aumenta a área de contato entre os grânulos e a estrutura da peça vai se tornando mais homogênea, ainda que se possa identificar claramente alguns grânulos (**Figura 06**).



**Figura 06. Variação do volume de poros intragranular ( $V_{pp}$ ), intergranular ( $V_{pg}$ ) e total ( $V_p$ ) do corpo em função da pressão de prensagem.**

fonte: CALLISTER, Willian D. Jr / 2008

Paralelamente, ocorre a redução do volume e tamanho dos poros intergranulares. Durante todo o processo a distribuição de tamanho de poros é bimodal (**Figura 07**) e praticamente toda a redução da porosidade é devida à eliminação da porosidade intergranular. A porosidade intragranular permanece praticamente inalterada. Por último, o estágio final se inicia quando o grau de compactação do corpo se iguala ao do grânulo, ( $\rho_G$ ). Teoricamente, neste ponto desaparece toda a porosidade intergranular, e a distribuição de tamanho dos poros é monomodal (**Figura 07**).

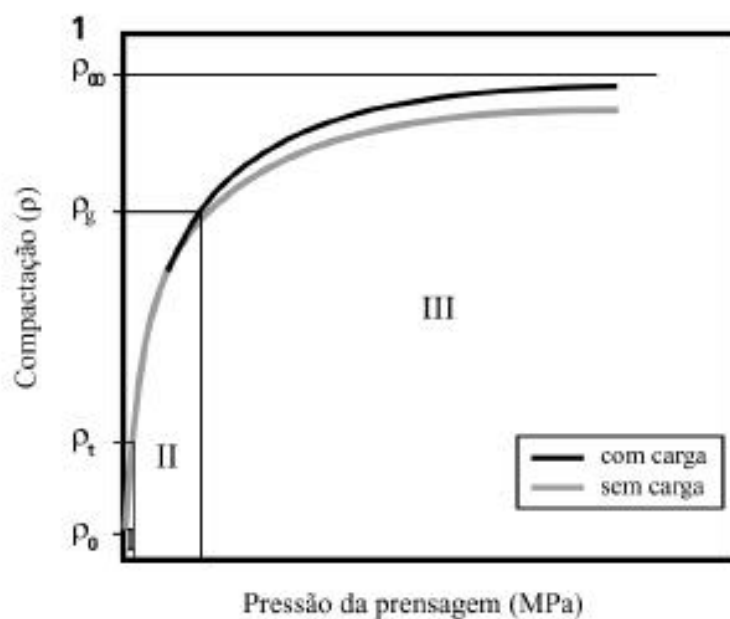


**Figura 07. Variação da distribuição do tamanho de poros do corpo com a pressão de prensagem (P).**

*Fonte: Cerâmica industrial (2000)*

Como consequência, neste estágio o aumento da compactação do corpo só pode decorrer da eliminação da porosidade intragranular, através do deslizamento e reordenação das partículas (mecanismo III). (Marino, 1998)

Com o aumento da pressão, diminui-se o volume e tamanho dos poros, as interfaces entre os grânulos vão se tornando imperceptíveis e a microestrutura da peça é cada vez mais homogênea (**Figura 06**). Relativamente ocorre pouca densificação neste estágio, especialmente a altas pressões (acima de 30/40 MPa) e quando as partículas que se compactam são duras e frágeis, como ocorre na maioria dos materiais cerâmicos. Assim, em pressões elevadas, um aumento na pressão de prensagem pode ocasionalmente provocar a fratura de agregados porosos e/ou a destruição de aglomerados de partículas que tenham resistido a pressões menores, aumentando ligeiramente a compactação do corpo. De uma maneira geral, a maior parte da carga aplicada neste estágio provoca uma compressão elástica do material, que se armazena sob forma de energia elástica, vindo a ser liberada com a retirada da carga (**Figura 08**).



**Figura 08. Variação da compactação do corpo em função da pressão de prensagem.**

*Fonte: Cerâmica industrial (2000)*

De uma maneira geral, a compactação final da peça, por mais que se aumente a pressão de prensagem, é sempre inferior a compactação que corresponderia ao empacotamento mais denso possível das partículas. Isto se deve a um dos seguintes motivos:

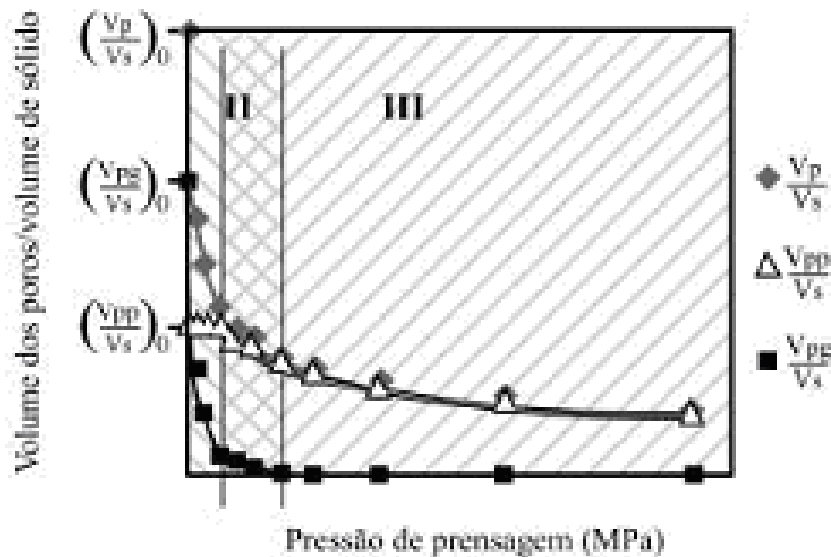
- a formação de empacotamentos irregulares e porosos de partículas que resistem às altas pressões devido a sua fragilidade e dureza, ainda existindo entre elas altíssimas forças de fricção.

- Em altas pressões, que correspondem a baixas porosidades, se o conteúdo de ligantes e plastificantes líquidos é elevado, pode ocorrer saturação dos poros da peça pelos mesmos, impedindo a compactação. (Marino, 1998)

Na verdade, os intervalos de pressão onde atuam cada um destes mecanismos não estão tão claramente definidos, uma vez que com freqüência dois deles se verificam simultaneamente.

De fato, o fluxo e a reordenação de grânulos podem vir acompanhado da deformação plástica e destruição dos mesmos (superposição dos mecanismos I e II). Da mesma forma, é freqüente que o início do processo de redução da porosidade

intragranular (mecanismo III) se dê antes da eliminação total da porosidade intergranular através do mecanismo II, tal como pode ser comprovado na **Figura 09**.



**Figura 09. Variação do volume de poros intragranular ( $V_{pp}$ ), intergranular ( $V_{pg}$ ) e total ( $V_p$ ) do corpo em função da pressão de prensagem.**

**Superposição dos mecanismos II e III de compactação.**

Fonte: Cerâmica industrial (2000)

### 2.1.3 Equação da compactação

Dá-se o nome de equação ou modelo de compactação à expressão que descreve a densificação experimentada pelo corpo em função da pressão de prensagem.

Com base na evolução apresentada pela estrutura porosa do corpo em função da pressão de prensagem e nos mecanismos que influenciam na compactação vistos anteriormente, foi desenvolvido um modelo ou equação capaz de descrever adequadamente a redução da porosidade experimentada pelo corpo em função da pressão de prensagem. (Marino, 1998)

$$C = \frac{(V_{pg0} - V_{pg})}{V_{p0}} + \frac{(V_{pp0} - V_{pp})}{V_{p0}}$$

A equação desenvolvida apresenta as seguintes vantagens: por um lado, reproduz os resultados experimentais de maneira mais precisa que a maioria das equações tradicionalmente conhecidas; por outro lado, os parâmetros empíricos nas quais ela se baseia são facilmente relacionados com as características da massa.

O modelo foi desenvolvido partindo-se das seguintes hipóteses:

- Define-se um grau de avanço do processo de compactação do corpo,  $C$ , ao compactá-lo até uma pressão de prensagem,  $P$ .

O significado físico do grau de avanço do processo de compactação é o quociente entre o volume de poros que é eliminado a uma dada pressão e o máximo teórico que seria possível eliminar (o volume total inicial de poros).

- O aumento de  $C$  com  $P$  se deve a uma diminuição do volume de poros intergranulares e intragranulares. Desta forma, em qualquer momento do processo, o volume total de poros ( $V_p$ ) é igual à soma do volume de poros intergranulares ( $V_{pg}$ ) e do volume de poros intragranulares ( $V_{pp}$ ). (Marino, 1998)

## 2.2 SINTERIZAÇÃO

Os fenômenos físico-químicos que ocorrem durante a cozedura ou sinterização de um material cerâmico a alta temperatura envolvem variações de peso, trocas caloríficas e alterações das dimensões do corpo, resultando, estas últimas na densificação, o principal objetivo da cozedura. Sendo os tratamentos térmicos a base da produção de materiais por sinterização, os métodos de análise térmica dos fenômenos observados (termogravimetria (ATV), análise térmica diferencial (ATD) e dilatometria) surgem, naturalmente, como os melhores meios de monitorizar, de clarificar e de otimizar o processo de cozedura.

### 2.2.1 Variações Dimensionais

A escolha das medidas mais eficazes para minimizar (ou, na medida do possível, eliminar) as variações de bitola deve ser baseada na identificação das suas causas. De um modo geral pode-se dizer que as variações de bitola têm sua origem em dois parâmetros: as características da massa e as condições de processamento.

Pode-se ter também os efeitos simultâneos desses dois aspectos resultando na variação da bitola. Para se identificar as causas das variações dimensionais pode-se fazer algumas observações e testes simples e rápidos na própria linha de produção. Nesse sentido é importante, por exemplo, observar se as variações ocorrem em todas as linhas. Pode-se também, como exemplo, colocar peças de uma linha na outra. (Cerâmica Industrial, 2001)

Através desses procedimentos simples, pode-se perceber se a variação de bitola está relacionada à massa ou ao processo. Se o defeito ocorrer em todas as linhas e/ou a troca de peças de uma linha para a outra não resolver, o mais provável é que a causa da variação de tamanho esteja na massa.

Caso contrário, o mais provável é que se trate de um problema de processo como, por exemplo, variação de densidade da peça prensada, variação de temperatura no interior do forno, etc...

Cabe salientar que, no que se refere ao controle da bitola, o aspecto mais importante é a constância de determinados parâmetros. Se o tamanho estiver, por exemplo, sempre acima do estabelecido, um operador experiente poderá corrigir o problema através do ajuste das condições de queima. Entretanto, se a bitola estiver variando consideravelmente não há ajuste de forno que permita resolver o problema.

O ajuste do tamanho através do controle das condições de queima tem um grande inconveniente: os efeitos que esses ajustes podem ter sobre as características da superfície esmaltada. Os esmaltes necessitam de determinadas condições para que possam desenvolver durante a queima as características desejadas. (*Cerâmica Industrial, 2001*)

Freqüentemente, entretanto, ao se ajustar o forno para acertar a bitola compromete-se as características da superfície esmaltada. Ou seja, elimina-se um problema e cria-se outro. Nesse sentido o ajuste da bitola através da alteração das condições de queima deve ser visto como a última alternativa para a solução do problema.

Mesmo assim, nos casos em que não há outra opção, devem-se consultar os fornecedores de esmaltes antes de se fazer as alterações para minimizar as perdas. Mas, se o tamanho varia e deve-se evitar alterar as condições de queima, é fundamental identificar as outras alternativas possíveis para se resolver o problema, ou seja, identificar as demais variáveis que afetam a bitola.

A variação dimensional durante a sinterização vai depender de fatores como percentual de umidade, a pressão efetuada, distribuição granulométrica.

### 2.2.2 Variáveis que Afetam as Dimensões

O tamanho do produto final pode ser determinado à partir das dimensões do estampo da prensa e das variações de tamanho sofridas pela peça durante o processo, como expressa a equação 1:

$$C_f = C_i + RE - RL_s - RL_q$$

Onde:  $C_f$  = comprimento final;

$C_i$  = comprimento do molde;

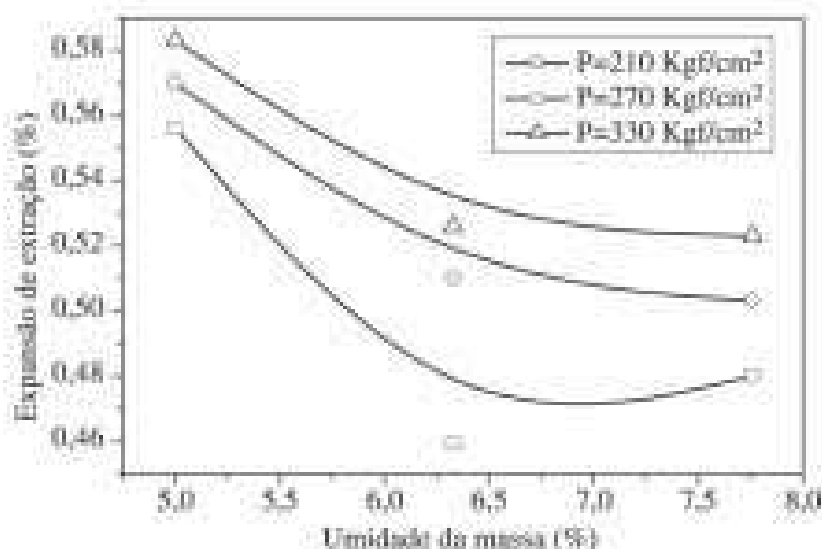
RE = expansão na extração do molde;

RL<sub>s</sub> = retração linear de secagem;

RL<sub>q</sub> = retração linear de queima.

A expansão de extração, ou recuperação elástica, corresponde ao aumento de tamanho que as peças apresentam durante a extração dos estampos da prensa. Essa expansão tem sua origem na recuperação elástica das partículas quando as pressões do punção e do estampo deixam de atuar, durante a extração das peças.

A Figura 10 apresenta os efeitos da pressão e umidade sobre a expansão de extração de uma massa preparada por via úmida. Pode-se notar que o aumento da umidade, para todas as pressões utilizadas, levou a diminuição da expansão de extração. (Cerâmica Industrial, 2001)



**Figura 10. Efeitos da umidade da massa e da pressão de Compactação sobre a expansão de extração.**

Fonte: Cerâmica Industrial (2001)

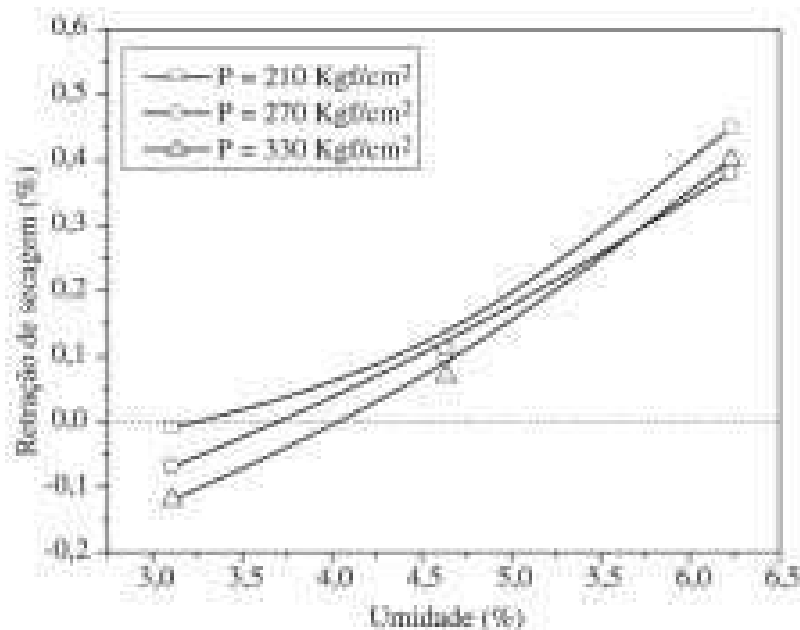
Por outro lado, o aumento da pressão de compactação resultou em um aumento da expansão de extração. As explicações detalhadas para esses comportamentos podem ser encontradas na literatura<sup>3</sup> específica do assunto.

No que se refere ao tema em questão, mesmo os maiores valores obtidos para a expansão de extração ( $RE = 0,58\%$ ) são relativamente pequenos quando comparados com as variações de tamanho ocorridas nas demais etapas do processo.

Assim sendo, pode-se concluir que dificilmente a expansão de extração pode ser responsabilizada pelas variações dimensionais que constituem problemas reais de bitola. Entretanto, se a expansão de extração for relativamente elevada e a resistência mecânica das peças não for suficiente para suportar os esforços localizados nas bordas das peças durante a extração, podem ocorrer as chamadas trincas de extração. (*Cerâmica Industrial, 2001*)

A retração linear de secagem se manifesta de maneira mais pronunciada em revestimentos conformados por extrusão ou em outros produtos cerâmicos em que se emprega conteúdos de água mais elevados para a conformação.

Conforme se verifica na Figura 11, a umidade dos grânulos é o fator de maior relevância para o controle da retração de secagem das peças. O aumento da pressão de compactação pode contribuir para a redução da retração de secagem apenas em uma magnitude muito pequena.



**Figura 11. Efeitos do teor de umidade e da pressão de compactação**

### **sobre a retração de secagem.**

*Fonte: Cerâmica Industrial (2001)*

Quando se utilizam massas com teores reduzidos de umidade, a retração linear de secagem é nula ou negativa (ocorre expansão na secagem). A expansão durante a secagem é um fenômeno que se manifesta apenas quando o teor de umidade da massa é muito baixo e a peça continua a apresentar expansão de extração de maneira lenta e gradual, algum tempo após a extração das peças dos moldes das prensas. (*Cerâmica Industrial, 2001*)

Com base nos resultados apresentados acima, verifica-se que a expansão de extração e a retração de secagem em geral apresentam magnitudes inferiores a 1,0% e exercem pouca influência sobre o tamanho do produto final. Assim sendo, pode-se concluir que a principal variável da equação 1, no que se refere à estabilidade dimensional, é a retração linear de queima (RLq).

A retração linear de queima (RLq) depende fundamentalmente:

- a) densidade aparente da peça prensada,
- b) composição da massa
- c) condições de queima

#### **2.2.3 Densidade Aparente (Grau de Compactação)**

O volume da peça prensada seca é a soma do volume das partículas sólidas e dos poros entre as mesmas. Durante a queima os poros se fecham e/ou são eliminados. A eliminação dos poros resulta em uma diminuição do volume total de poros e conseqüentemente do volume da própria peça.

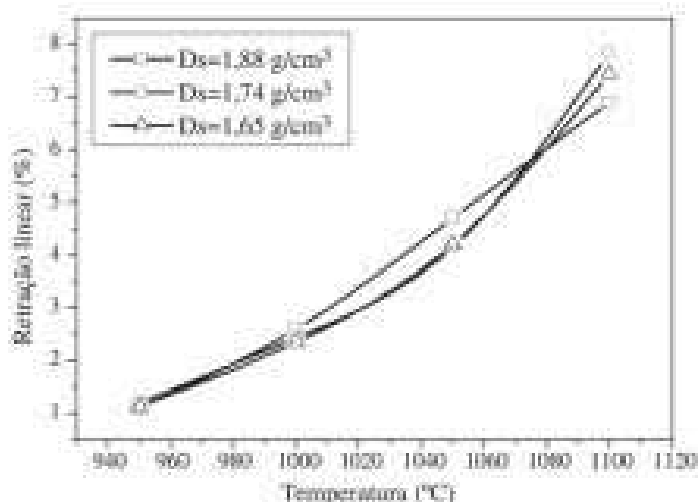
Portanto, a diminuição do volume sofrida pela peça durante a queima depende da diferença entre o volume de poros da peça seca e queimada. De um modo geral, pode-se dizer que quanto maior for essa diferença, maior será a diminuição de volume.

Essa afirmativa, entretanto, nem sempre é verdadeira pois, como mencionado anteriormente, a porosidade aparente pode diminuir durante a queima pelo fechamento dos poros e não pela sua eliminação. O fechamento dos poros pode se dar sem que haja retração da peça.

Portanto, se a porosidade aparente (varia proporcionalmente à absorção de água) do produto final estiver fixada pela sua especificação, pode-se dizer que quanto menor for o volume de poros na peça seca, ou seja, quanto maior for a sua densidade aparente ( $D_s$ ), menor será a retração durante a queima.

No entanto, o efeito desta variável deve ser estudado caso a caso, pois sua relevância sobre a estabilidade dimensional do produto depende de cada tipo de massa. Nas Figuras 12 e 13, apresentam-se os resultados obtidos para duas massas distintas, utilizadas para a fabricação de revestimentos semi-porosos e gresificados, respectivamente.

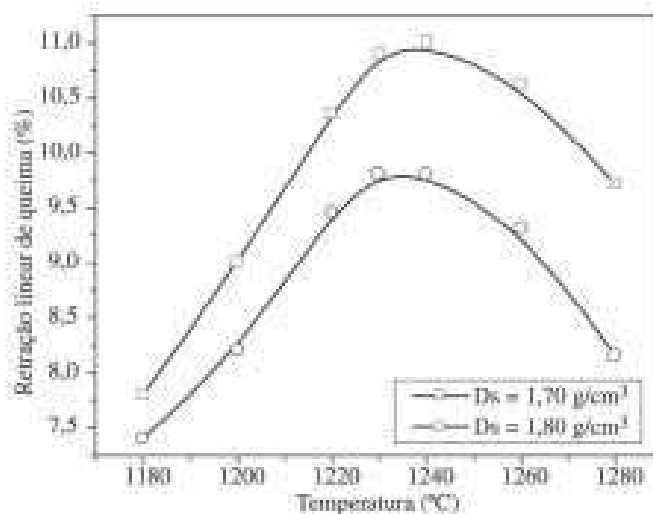
Para a massa de revestimento semi-poroso, Fig. 12, observa-se que a retração linear aumenta com o aumento da temperatura de queima e que a densidade aparente ( $D_s$ ) não afeta significativamente esse comportamento. Esses resultados sugerem que, para esse tipo de massa, a estabilidade dimensional praticamente independe do grau de compactação.



**Figura 12. Efeitos da densidade após secagem sobre a retração linear de queima de uma massa de revestimentos semi-porosos.**

*Fonte: Cerâmica Industrial (2001)*

Os resultados apresentados na Figura 13, correspondem a uma massa de grês (produtos com absorção de água inferior a 0,5%). Pode-se notar que a retração linear aumenta até uma determinada temperatura, a partir da qual ocorre a expansão dos gases retidos no interior dos poros fechados, que provoca o inchamento do corpo.



**Figura 13. Efeitos da densidade após secagem sobre a retração de queima de uma massa de revestimentos gresificados.**

*Fonte: Cerâmica Industrial (2001)*

Os resultados mostram ainda que, para essa massa, a densidade aparente da peça seca afetou consideravelmente a retração. À medida em que se aumenta o grau de compactação (densidade aparente) há uma redução considerável da retração de queima. Analisando este resultado sob o ponto de vista da estabilidade dimensional, verifica-se a necessidade de se controlar rigorosamente a compactação da massa (através da densidade aparente dos corpos verdes) para evitar variações dimensionais causadas por diferenças de compactação.

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que, de um modo geral, quanto menor for a absorção de água do produto final, mais importante é o controle da densidade aparente das peças prensadas para que se possa controlar suas dimensões. (Cerâmica Industrial, 2001)

#### **2.2.4 Composição da Massa**

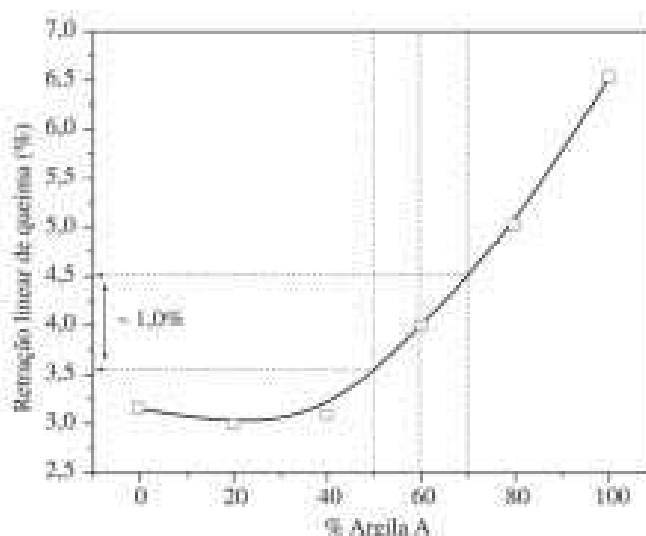
Na etapa de queima, durante o aquecimento, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, em decorrência da fusão parcial dos componentes menos refratários presentes na massa. À medida em que se aumenta a temperatura de queima o volume de fases líquidas também aumenta. Além disso, o aumento da temperatura provoca a redução da viscosidade das fases

líquidas, facilitando assim o seu “escorrimento” para dentro dos espaços vazios entre as partículas que ainda não se fundiram.

Durante o preenchimento dos espaços vazios, por forças de capilaridade<sup>6</sup>, as fases líquidas provocam a aproximação das partículas sólidas. Essa aproximação, por sua vez, resulta em uma diminuição do volume de poros e na retração da peça. Um outro aspecto que também contribui para a retração é a dissolução de parte das partículas sólidas pelas fases líquidas.

Na etapa de resfriamento, a peça continua a apresentar redução de tamanho, em virtude da redução de temperatura. A retração linear de queima corresponde à variação percentual de comprimento apresentada pelas peças durante a queima. Para garantir a estabilidade dimensional de um produto geralmente almeja-se a obtenção da retração de queima mais baixa possível e, acima de tudo, a mais constante possível ao longo da produção. Para isso, deve-se evitar as variações de composição das matérias primas que fazem parte da massa e objetivar a formulação de massas que apresentem baixa sensibilidade às variações naturais do processo de fabricação.

A obtenção de produtos dimensionalmente estáveis começa com o desenvolvimento de uma massa de composição adequada ao tipo de produto e ao processo de fabricação utilizado. Na Figura 14, representam-se os efeitos da variação da composição de uma massa de via seca sobre a retração linear de queima do produto.



**Figura 14. Efeitos da variação da proporção entre as argilas sobre**

### **a retração de queima.**

*Fonte: Cerâmica Industrial (2001)*

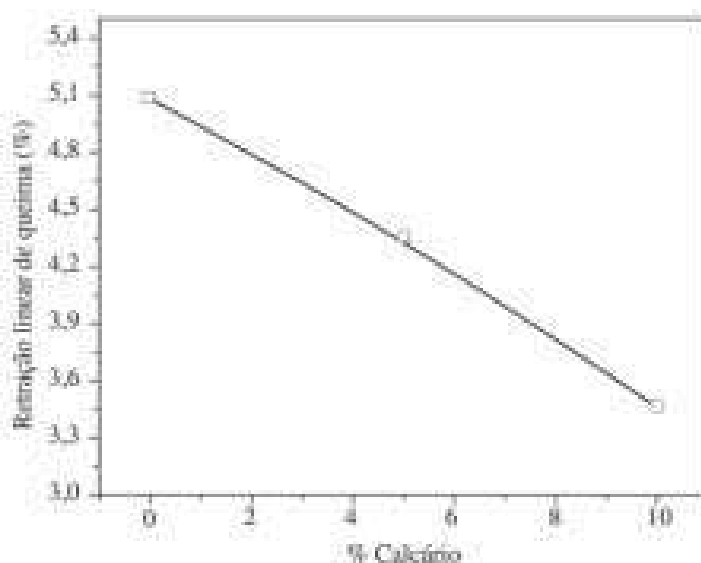
Trata-se de uma massa constituída por mistura de duas argilas semelhantes, com diferenças fundamentais em sua refratariedade. A composição estabelecida para a massa faz uso de 60% de uma das argilas e 40% da outra. Na Figura 14 apresenta-se as conseqüências da variação da composição da massa no processo de dosagem das duas argilas.

Observa-se que para variações de  $\pm 10\%$  na proporção da mistura pode haver uma variação de tamanho no produto final de até 1,0%. Sabendo-se que a dosagem das argilas é feita volumetricamente nas indústrias de moagem a seco, esta variação de composição pode ocorrer com relativa facilidade.

Neste sentido, torna-se fundamental a existência de um controle rigoroso na dosagem das argilas ou então o desenvolvimento de uma outra formulação em que as argilas utilizadas apresentem comportamentos individuais menos discrepantes.

Em outros casos, a própria variação natural das argilas pode afetar o tamanho do produto acabado. A presença não detectada de contaminantes na matéria prima pode alterar o seu comportamento durante a queima.

Na Figura 15 apresentam-se os resultados obtidos com a adição de calcário sobre uma argila utilizada para a fabricação de revestimentos por via seca. O calcário é um dos contaminantes mais comuns das argilas da formação Corumbataí usadas no pólo de Santa Gertrudes.



**Figura 15. Efeitos da contaminação de calcário nas argilas sobre a retração de queima.**

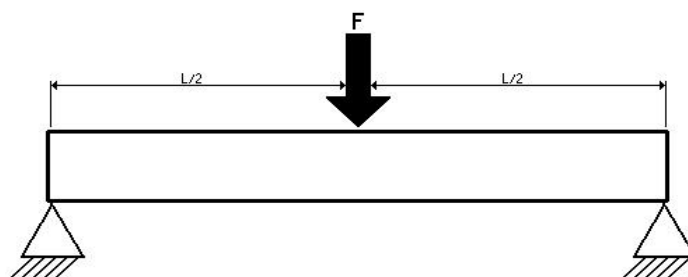
*Fonte: Cerâmica Industrial (2001)*

A presença de calcário na composição da argila altera a retração linear de queima da massa, tornando-a mais refratária. A introdução de 5,0% de calcário na argila já causa uma redução de sua retração de queima da ordem de 0,5%. Este comportamento é o mesmo detectado nas massas de monoporosa fabricadas por via úmida, onde o calcário é propositalmente introduzido na forma de calcita para o aumento da estabilidade dimensional do produto. Sua atuação se deve à formação de fases cristalinas de baixa densidade durante o aquecimento, que geram um ligeiro aumento das dimensões das peças em temperaturas superiores a 1000 °C.

### 2.3 ENSAIO DE FLEXÃO

O ensaio de flexão foi adaptado com o objetivo de ser utilizado em materiais frágeis para determinar a tensão e flecha de ruptura, para além de permitir avaliar outras propriedades mecânicas, nomeadamente o módulo de elasticidade à flexão. A sua grande vantagem é a de permitir utilizar corpos de prova mais fáceis de analisar que os corpos de prova utilizados no ensaio de tração e, tem tanto mais aplicação, quanto mais duro for o material. No entanto, para materiais muito frágeis, os resultados obtidos apresentam grande dispersão, de modo que nestes casos devem realizar-se sempre vários ensaios para estabelecer um valor médio.

A técnica de ensaio consiste em apoiar o corpo de prova em dois pontos distanciados de um comprimento (L) e aplicar lentamente uma força de flexão (F) no centro deste. (*John Wiley & Sons, 2002.*)



O corpo de prova pode ter uma secção qualquer; contudo as circulares ou

retangulares são as mais utilizadas por facilitarem os cálculos. O seu comprimento encontra-se especificado.

Deste ensaio pode ainda retirar-se o módulo de rotura ( $M_r$ ), que significa o valor máximo da tensão de tração ou de compressão nas fibras externas do corpo de prova e que pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$M_r = \frac{M \cdot Y}{I} [Nmm^{-2}]$$

Onde  $M$  é o momento máximo de flexão igual a  $(F_{max}L/2)$  expresso em  $[Nmm^{-2}]$ ,  $Y$  a distância do eixo à fibra externa em mm e  $I$  o momento de inércia inicial da secção transversal do corpo de prova em relação ao seu eixo, em  $mm^4$ .

O momento de inércia, para corpos de prova de secção circular, é dado por:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

E para corpos de prova de secção retangular:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Sendo  $d$  o diâmetro do corpo de prova circular em mm,  $b$  e  $h$  a largura e altura do corpo de prova retangular em mm, respectivamente.

Assim, para corpos de prova de secção circular a expressão do módulo de rotura assume a forma:

$$M_r = \frac{2,55 \cdot F_{max} \cdot L}{d^3}$$

E para corpos de prova de secção retangular:

$$M_r = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Se a ruptura ocorrer dentro da zona elástica do material,  $M_r$  representa a tensão máxima da fibra externa enquanto que se ocorrer na zona plástica,  $M_r$  é maior que a tensão máxima realmente atingida. Este fato decorre das expressões obtidas para  $M_r$  pressuporem uma distribuição linear de tensões entre o eixo neutro e a fibra externa. (*John Wiley & Sons, 2002.*)

Outra propriedade possível de obter no ensaio de flexão é o módulo de elasticidade à flexão ( $E$ ) através da seguinte expressão:

$$E = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot y \cdot I}$$

em que  $y$  é a flecha medida para a força ( $F$ ) aplicada a meio vão. A medida das flechas em relação às forças ( $F$ ) permite traçar uma curva tensão - deformação em que a tensão é dada pela expressão:

$$\sigma = \frac{2,55.F.L}{d^3}$$

para corpos de prova de secção circular, e:

$$\sigma = \frac{3.F.L}{2.b.h^2}$$

para corpos de prova de secção retangular.

Os resultados dos ensaios de flexão são afetados, sobretudo em materiais frágeis, por diversos fatores como o tipo e velocidade de aplicação da força de ensaio, o comprimento do vão entre apoios e as dimensões da secção transversal do corpo de prova. Por exemplo, a força do ensaio aplicada no centro conduz a valores de resistência à flexão mais elevados. (*John Wiley & Sons, 2002.*)

Em corpos de prova com a mesma secção e dimensão, quanto menor for a distância entre apoios, mais elevado é o módulo de rotura obtido. Finalmente, do mesmo modo que na tração e na compressão, quanto maior for a velocidade de aplicação da força, mais elevada é a resistência à flexão.

## 2.4 Têmpera - Processo de Tratamento Térmico

Têmpera é um dos processos utilizados no tratamento térmico de metais para aumentar a dureza e conseqüente resistência dos mesmos. O processo da têmpera consiste em duas etapas: aquecimento e esfriamento rápido. O aquecimento visa obter a organização dos cristais do metal, numa fase chamada austenitização. O nome deriva do sobrenome, Austen, do descobridor dessa fase, a qual é explicada abaixo. O esfriamento brusco visa obter a estrutura martensita (supersaturada em carbono; nome deriva do sobrenome Martens, de seu descobridor).

Na têmpera o aquecimento é superior à temperatura crítica, que é de 727°C. O objetivo é conduzir o metal a uma fase, na qual se obtém o melhor arranjo possível dos cristais do metal, e portanto, da futura dureza. A partir dessa fase o aço pode ser conduzido para outras fases, dependendo das necessidades em jogo. A temperatura dessa fase chama-se temperatura de austenização. Como cada aço

tem composição própria, a temperatura de austenização varia de aço para aço. Conseqüentemente, a têmpera é obtida em temperaturas diferentes, dependendo da composição do aço da peça e dos seus objetivos. Portanto, a têmpera de uma dada peça leva em consideração muitos fatores.

O próprio tempo de exposição da peça na temperatura de austenização é considerado quando se faz a sua têmpera. Cada aço tem uma temperatura de austenização, e que é aquela que proporciona o máximo de dureza. Essa temperatura é obtida dentro de fornos, os quais podem ser por chama ou por indução elétrica. Dependendo das exigências do cliente, a austenização, e conseqüentemente a têmpera, vai ocorrer apenas na superfície da peça ou em toda ela. A segunda etapa da têmpera é o resfriamento, o qual deve ser brusco, em óleo ou água. A rapidez do resfriamento é importante para impedir que o aço mude para fase diferente daquela que se obteve na temperatura de austenização (obter estrutura martensítica). Quase sempre, após a têmpera, a peça é submetida ao revenimento.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 MATERIAIS**

No processo de fabricação da matriz foi utilizado o aço 2714 devido sua propriedade mecânica, por submeter-se à uma carga alta de aproximadamente 12 toneladas no processo pelo qual a ferramenta será submetida.

### **3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para aumentar ainda mais sua resistência e garantir uma melhor durabilidade da peça ela foi submetida à tratamento térmico chamado Têmpera.

Tratamento térmico que possui como objetivo otimizar a relação entre microestrutura, dureza e tenacidade. Normalmente, esse processo é complementado por outro tratamento térmico, denominado Revenimento.

A têmpera utilizada nesse processo foi feita a uma temperatura de 830°C, em seguida refrigerada a óleo. Basicamente, a Têmpera consiste em resfriar rapidamente o aço, após a temperatura de austenitização, à uma velocidade superior à velocidade crítica, para obter uma estrutura denominada martensita.

Essa velocidade significa uma taxa de resfriamento crítico correspondente à menor taxa de resfriamento que pode ser utilizada para que toda a estrutura obtida ainda seja martensítica. Geralmente, essa velocidade crítica diminui ao mesmo tempo em que aumentam o Carbono e a porcentagem de elementos de liga. Nesse caso, diz-se que o aço possui uma temperabilidade mais elevada. A temperabilidade mede a habilidade de um material sofrer um tratamento térmico que aumente a proporção de fase dura (martensita).

Logo após foi realizado o tratamento de revenimento à 250°C. O Revenimento possui como principal objetivo controlar a relação dureza e tenacidade obtida após o processo de Têmpera, reduzindo as tensões produzidas durante esse processo. Por isso, sem esse complemento, os materiais temperados apresentam-se quase sempre frágeis.

Para que não haja saída dos grânulos do interior da matriz, foi necessário utilizar a usinagem com ajuste e folga H7, devido suas dimensões foi utilizado esse

procedimento, pois caso contrário havia um grande risco de ocorrer esse incidente, prejudicando o andamento do processo.

Os parafusos utilizados para a união das duas partes da matriz foram minuciosamente projetados, devido a elevada pressão que os mesmos sofrem a cada processo de compactação. O estudo foi baseado desde o diâmetro dos parafusos até o tipo de rosca utilizado na matriz. Com base em todos esses dados chegou-se ao denominador necessário para fabricação dos mesmos.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

Um dos problemas levantados durante a projeção do dispositivo foi que toda vez que se usavam outros dispositivos similares à esse, o mesmo tinha que ser removido das prensa para que se pudesse retirar a peça pronta, como mostra a figura X. Nesse caso não existe alguma forma de se retirar o corpo de prova se ter que retirar também a matriz da prensa.



**Figura 17: Matriz comum de compactação**

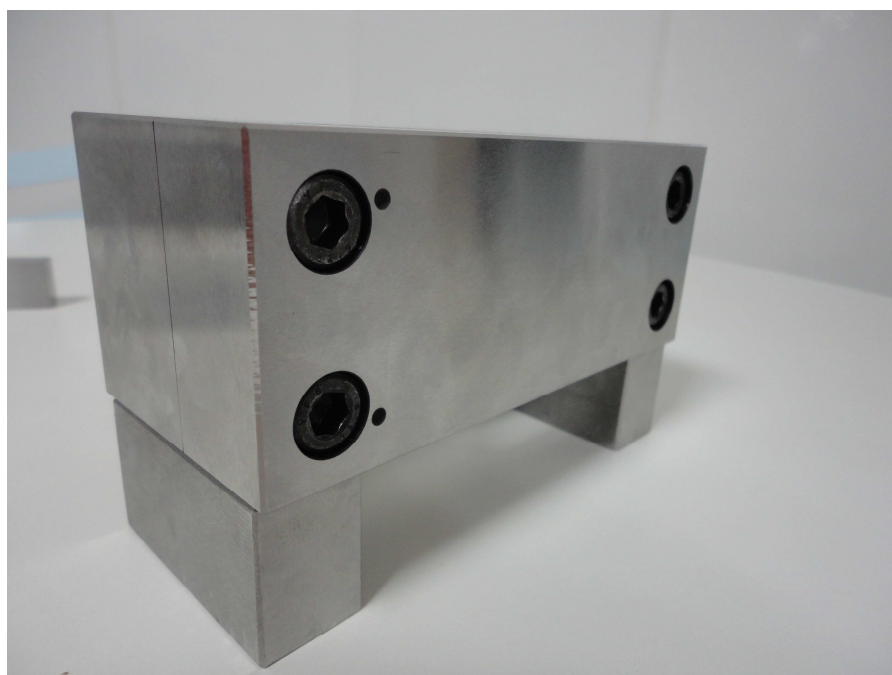
*Fonte : Gustavo (2013)*

Com base nesse e em outros dados foi constatado que havia a necessidade de se projetar um dispositivo diferente dos normais, que tivesse de alguma maneira

alguma forma de se retirar o material sem causá-lo nenhum dano, devido a sua fragilidade quando verde.

Segundo a norma ASTM C1161 o formato do corpo de prova deveria ser retangular, com os cantos formando 90 graus, sem ser arredondado. Inviabilizando o trabalho de ferramenta de fresa nessa situação, podendo haver outros processos de corte da peça.

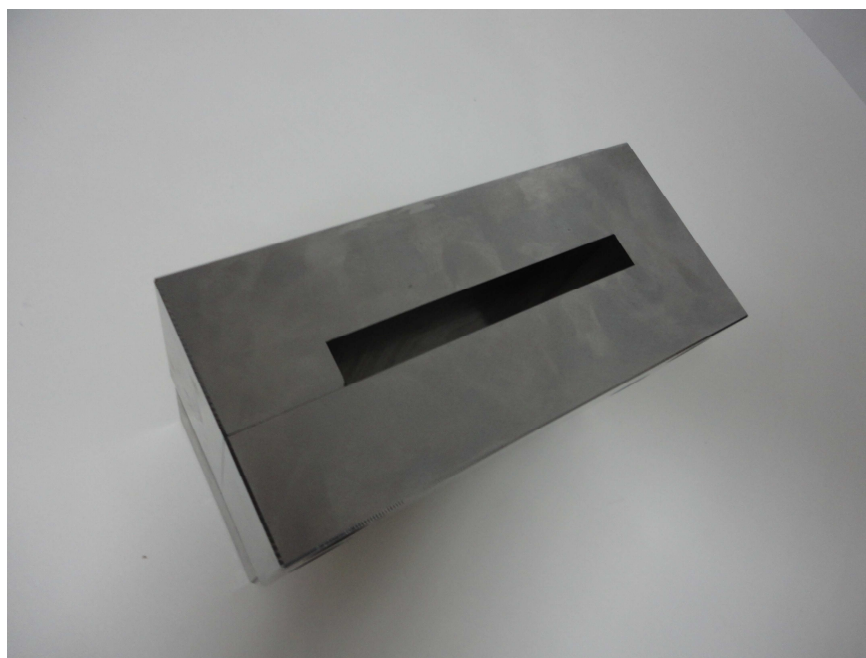
Devido a dificuldade em encontrar uma empresa que tivesse essa ferramenta de corte e pelo alto custo da mão-de-obra para a execução do serviço, foi optado em fazer uma matriz bipartida, presa por quatro parafusos de aço. Uma vez que a carga aplicada sobre ela não iria implicar em danos, devido estar se trabalhando com materiais cerâmicos, como ilustra a figura a seguir:



**Figura 18: Parafusos de aço para fixação das duas partes**

*Fonte : Gustavo (2013)*

Utilizando esse sistema de duas partes da peça foi possível fazer com que o rasgo da matriz possuísse as dimensões exigidas pela norma.



**Figura 19: Cavidade da peça**

*Fonte : Gustavo (2013)*

Como mencionado anteriormente havia a necessidade de retirar os corpos de prova sem haver necessidade de se retirar a matriz da prensa, após alguns estudos surgiu a possibilidade de se fazer um sistema similar à uma gaveta. Mas primeiro teria que ser adicionado alguma sustentação, ou uma espécie de calço, que conseguisse além da intenção de retirar as peças, suportar a carga aplicada na matriz. Com base em estudos e projeções de carga chegou-se a esse resultado, como segue na figura seguinte:

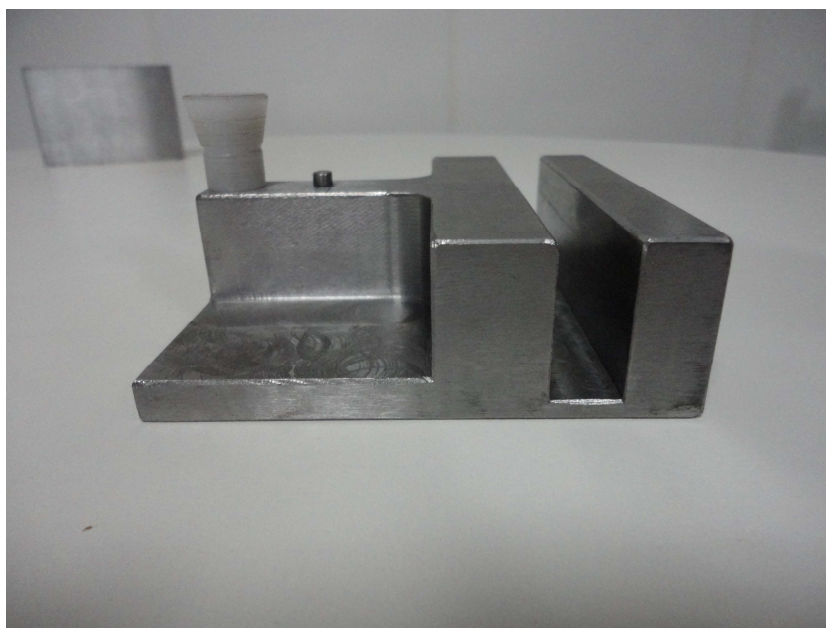


**Figura 20: Base de sustentação anexada na matriz**

*Fonte : Gustavo (2013)*

Uma boa parte do problema acabara de ser solucionada, porém havia um grande problema a se solucionar, a situação de se retirar os corpos de prova sem mexer a matriz de lugar. Com o mesmo pensamento de se fazer o sistema de gaveta, constatou-se que se fosse feita uma cavidade ao longo da parte móvel da peça, com as dimensões mínimas do punção inferior mais a dimensão do corpo de prova, seria possível a retirada do material sem mover a matriz do lugar.

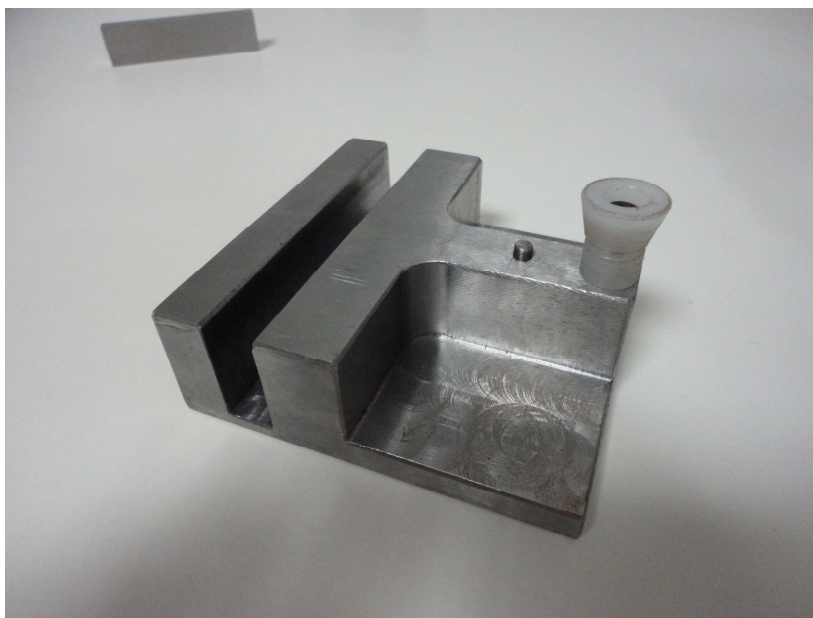
O modelo dessa parte trabalhada para essa função está ilustrado na figura seguinte:



**Figura 21: Cuidade da parte móvel para retirada do material**

*Fonte : Gustavo (2013)*

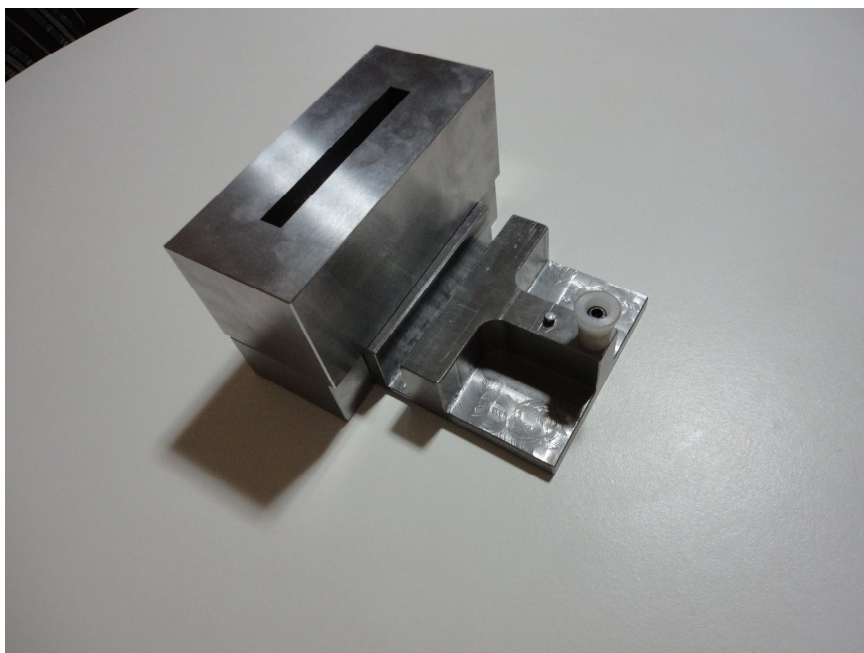
De uma maneira simples e pratica a parte móvel da peça ficou pronta, com a cavidade necessária, e o puxador para facilitar o processo.



**Figura 22: Parte móvel da peça**

*Fonte : Gustavo (2013)*

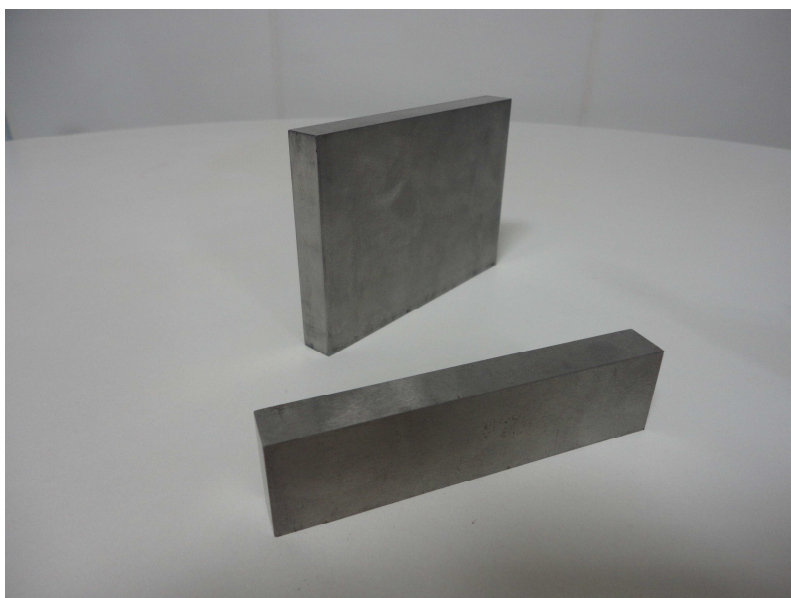
Dessa forma juntando as duas partes: a fixa e móvel chegamos ao seguinte resultado:



**Figura 23: Duas principais partes da matriz.**

*Fonte : Gustavo (2013)*

Concluindo essa parte principal, precisava apenas da confecção dos dois punções, o superior com uma dimensão bem maior, e o inferior que fica mais próximo a base da peça. Como ilustra a próxima figura:



**Figura 24: Punções superior e inferior**

*Fonte : Gustavo (2013)*

Após a conclusão da peça foi submetida ao tratamento térmico de têmpera para melhorar sua resistência e suas propriedades mecânicas. Na seqüência passou por outro processo, de revenimento que também contribui para suas propriedades mecânicas. Logo após foi medido sua dureza através de ensaio que resultou no valor de 50 HRC.

O dispositivo deverá ser guardado cuidadosamente em um estojo apropriado, pois não pode ficar exposto á umidade ou outras avarias que possam prejudicar a qualidade e durabilidade da matriz.

### **3.3 RESULTADOS**

Ao concluir a construção do projeto e colocar o mesmo em prática, foi constatado que o dispositivo suportou a carga imposta pela prensa hidráulica e conseguiu - se obter a prensagem total do material cerâmico que estava presente na cavidade.

Sendo assim os corpos de prova serão confeccionados de uma maneira prática e rápida, uma vez que não necessita a retirada da matriz do seu local na prensa, por haver o compartimento móvel que proporciona maior praticidade para retirada da peça pronta.

Será de grande valia a nível didático, pois irá proporcionar melhorias em aulas praticas e maior precisão nos resultados obtidos, uma vez que, as dimensões da peça final estão dentro da norma regulamentadora, ASTM C1161/02, podendo assim ser comprovado, de forma prática, os dados e valores que os livros didáticos trazem até os acadêmicos.

O dispositivo apresentou uma resistência superior a necessária para ensaios em materiais cerâmicos, devido aos tratamentos de têmpera e revenimento nele impostos, sendo um ponto positivo essa maior resistência.

Outro dado importante levantado na conclusão desse projeto foi a dureza da matriz que foi medido via ensaio de dureza, atingindo o resultado de 50HRC, mais um ponto favorável para a resistência e durabilidade do dispositivo.

De uma maneira geral todos os objetivos esperados foram alcançados, tendo por conseqüência futura um bom aproveitamento e uso para os acadêmicos

que possam a vir estar fazendo uso desse dispositivo nos próximos vários períodos que venham a se iniciar.

#### **4 CONCLUSÃO**

Ao final do processo de fabricação do dispositivo constatou-se que o mesmo suporta a pressão da carga que será aplicada em todos os processos de compactação.

Esse dispositivo será de grande utilidade didática, para sejam realizados estudos específicos sobre resistência de materiais cerâmicos. Outra vantagem do dispositivo é a praticidade para retirada da peça compactada pronta, não havendo necessidade de a matriz ser retirada da prensa, tornando o processo muito mais rápido no que se refere a quantidade de peças produzidas ao tempo necessário.

A matriz ajudará os acadêmicos de forma significativa nas aulas praticas dos semestres posteriores, facilitando a aprendizagem sobre resistência de materiais cerâmicos em teste de Flexão.

## 5 REFERÊNCIAS

Norma ASTM / C 1161-02 “ **Método de ensaio padrão para a resistência à flexão de cerâmica avançada à temperatura ambiente**”.

ALBARO, J.L.A.; “**A operação de prensagem: Considerações técnicas e sua aplicação industrial.**” Cerâmica industrial, v. 5, n. 5, p. 14-20 e 23-29, 2000.

Menegazzo, A.P.; Soares, C.S.; Vargas, D.T. – “**Ensaio para certificação de revestimentos cerâmicos segundo norma NBR 13818**” – Centro Cerâmico do Brasil (CCB), Publicação interna, São Paulo, SP, 1999.

Melchades, F.G.; Silva, L.L.; Quinteiro, E.; Albers, A.P.F.; Baldo, J.B.; Boschi, A.O. “**Alternativas para eliminar (ou reduzir) os furos no esmalte causados por partículas de calcário em revestimentos fabricados por via seca**” – Cerâmica Industrial, vol.6, no1, 07-14, 2001.

Marino, L.F.B.; Boschi, A.O. – “**A expansão térmica dos materiais cerâmicos – Parte III: Efeito da adição de calcita**” – Cerâmica Industrial, vol.3, no4-6, 18-23, 1998.

Amorós, J.L.; Feliu, C.; Gines, F.; Mestre, S. – “**La extracción de la pieza del molde durante la fase de prensado. Influencia de algunas variables de operación**” – Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, vol. 33, no4, 207-211, 1994.

CALLISTER, Willian D. Jr; Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução.** 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.